

„Wahrnehmung von Hell und Dunkel“

(Wahrnehmung von Hell und Dunkel bei optischen Phänomenen)

Bachelor-Thesis

an der HTW Aalen

Studiengang Augenoptik und Hörakustik

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Augenoptik Aalen (IfAA)

(Scheune in Leinroden)



Absolvent: Thomas Fischer
Schulstraße 4
94250 Achslach
Matrikel-Nr.: 31300
fischerstom@web.de

Betreuer: Prof. Dr. Bernd Lingelbach
Prof. Dr. Thomas Kirschkamp

„Ein Stück Kreide zeigt an einem trüben Tage dieselbe Farbe, wie ein Stück Kohle an einem sonnigen Tage.“

Ewald Hering (1878)

INHALT

1 Einleitung	3
2 Grundlagen	4
2.1 Die Netzhaut (Retina)	4
2.2 Das Chiasma	5
2.3 Corpus geniculatum laterale (CGL) (Der seitliche Kniehöcker)	6
2.4 Der primäre visuelle Cortex bzw. Sehrinde (Brodmann Areal 17, V1, Area Striata)	7
2.5 Helligkeitswahrnehmung	8
3 Wahrnehmung von Hell und Dunkel	9
3.1 Geschichte der Wahrnehmung von Hell und Dunkel	9
3.2 Weitere Beispiele	15
4 Zwei Beispiele optischer Phänomene	18
4.1 Eine „reverspective“ Pyramide	18
4.1.1 Bau	18
4.2 „Diaprojektor“ (Aus Schwarz mach Weiß)	25
4.2.1 Bau	25
4.3 Erklärung	27
4.4 Messungen	29
4.5 Fazit	42
5 Zusammenfassung	43
6 Erklärung des Absolventen (B.Sc.)	44
7 Quellenverzeichnis	45

1 EINLEITUNG

Der Mensch hat sechs Sinne, den Hörsinn und Gleichgewichtssinn (Ohren), den Geruchssinn (Nase), den Tastsinn (Haut), den Geschmackssinn (Zunge) und natürlich den wichtigsten Sinn, den Sehsinn (Augen), der ca. 80% unserer bewussten Sinneseindrücke ausmacht. Aber das war nicht immer so, nämlich erst seit der Erfindung des Buchdruckes, also ab dem 16. Jahrhundert. Da „verlor das Ohr seine vorrangige Bedeutung als Vermittler des Geistigen, da man nunmehr Wissen auch durch Lesen erwerben konnte. Im Gegensatz zur Antike gilt heute das Auge im Allgemeinen als ‚edelster Sinn‘ [Hellbrück 1993]“^[1]. Dies zeigt sich vor allem daran, da wir unsere Augen jeden Tag zur Aufnahme und Weiterleitung visueller Reize an das Gehirn benutzen und unser Handeln und Tun darauf am meisten ausrichten.

Doch trotz der aufbauenden Wahrnehmungskette, angefangen vom visuellen Reiz, über die Verarbeitung und Wahrnehmung im Gehirn, bis hin zur Wiedererkennung und schließlich zum Handeln, lässt sich dieses komplexe und ausgeklügelte System unseres Sehens in manchen Situationen zu leicht austricksen. Dies lässt auf Fehler schließen, die bei der Verarbeitung und Umrechnung von realen und dreidimensionalen Umweltreizen, die auf einer zweidimensionalen Netzhaut abgebildet werden, entstehen. Folglich nehmen wir diese Sachen anders wahr, als sie in Wirklichkeit sind. Daraus lassen sich eben zweidimensionale, geometrisch-optische, oder dreidimensionale, optisch-räumliche Täuschungen bauen. Letztere sind meist monokular besser zu sehen, wenn nicht sogar nur monokular zu sehen.

Meine Aufgabe in dieser Arbeit war zum einen der Bau und Beschreibung zweier optischer Hell-Dunkel-Wahrnehmungstäuschungen, um die Anzahl der optischen Phänomene in der Scheune von Herrn Lingelbach in Leinroden aufzustocken. Zum anderen sollte auf die Geschichte dieser Hell-Dunkel-Wahrnehmung eingegangen werden.

Ich danke allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Als erstes natürlich möchte ich mich bei Prof. Dr. Bernd Lingelbach für seine Unterstützung bedanken. Ein großer Dank gilt natürlich auch meinen Eltern für ihre Geduld und für die finanzielle Unterstützung, als auch dafür, dass sie mir durch handwerkliches Geschick geholfen haben. Als nächstes danke ich Herrn Göde von der Firma „Göde Grafik & EDV“ für die Ausdrucke und Zuschnitte. Abschließend danke ich auch noch den Probanden, die sich für die Tests zur Verfügung gestellt haben.

2 GRUNDLAGEN

In folgendem Kapitel soll nur kurz auf die wichtigsten Grundlagen des menschlichen Sehens eingegangen werden. Als Erstes wird eine Übersicht des Weges auf der Sehbahn [Abb.1 <http://www.ihr-augenarzt.info> ^[2]], den ein visueller Reiz gehen muss, gezeigt. Dieser verläuft von der Netzhaut in den Augen über den Sehnerv zu einer ersten Zwischenstation, dem Chiasma, wo sich die Sehnerven beider Augen treffen und zum Teil kreuzen. Von dort verläuft er über den Tractus opticus weiter zum Corpus geniculatum laterale und schließlich als Gratioletsche Sehstrahlung zum primären visuellen Cortex im Gehirn. Man kann sagen, die Netzhaut und der Sehnerv sind vorgezogene Teile des Gehirns.

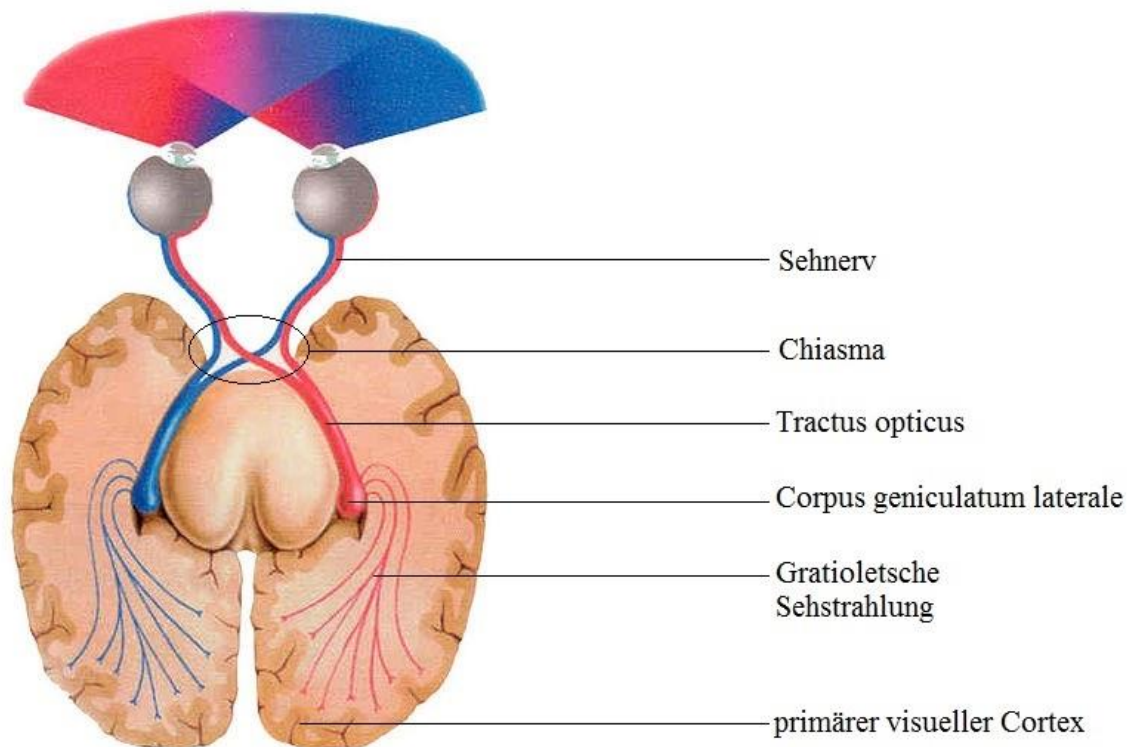
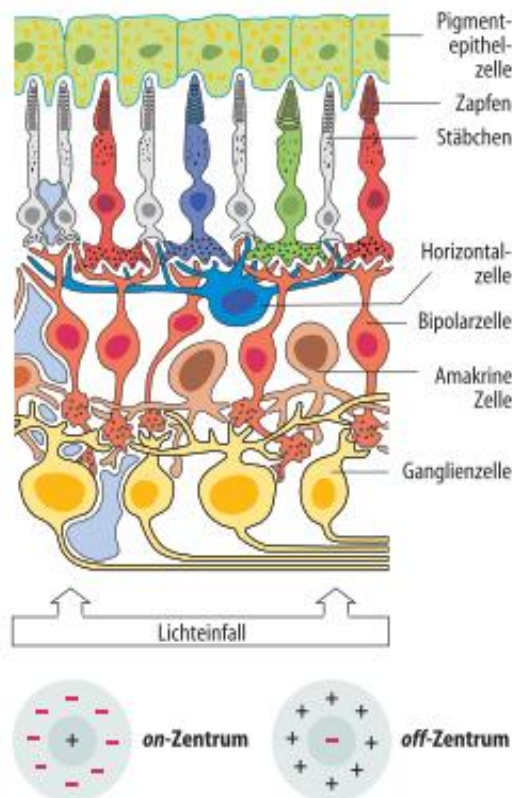


Abbildung 1: Querschnitt durch das Gehirn mit Sehbahn

2.1 DIE NETZHAUT (RETINA)

Ein visueller Reiz muss, um auf die Netzhaut (Retina [Abb.2 Lang 2007 ^[3]]) zu gelangen, durch verschiedene Schichten im Auge hindurch. Diese Schichten, bestehend aus Hornhaut, Linse und Glaskörper, werden als optisches Medium oder auch System zusammengefasst. Auf

der Netzhaut trifft er dann auf ca. 126 Millionen Rezeptoren, die Stäbchen und Zapfchen, die Lichtenergie in neuronale Signale umwandeln. Diese Rezeptoren sind mit ihrem lichtempfindlichen Außenteil in einem Pigmentepithel eingebettet. Der innere Teil der Rezeptoren ist sowohl mit Horizontalzellen, als auch mit den Bipolarzellen, die wiederum an ihrem anderem Ende mit den Ganglienzellen verbunden sind, verknüpft. Horizontalzellen sind Querverknüpfungen zwischen den Photorezeptoren. Weitere Querverknüpfungen zwischen den Bipolarzellen und den Ganglienzellen sind die Amakrine Zellen. Durch diese Verknüpfungen und Verschaltungen entstehen die sogenannten rezeptiven Felder, also der Bereich, von dem aus eine Ganglienzelle erregt oder gehemmt werden kann. Wie in der Abbildung 2 unten angedeutet, wird bei den on-Zentrumfeldern die Ganglienzelle durch



Beleuchtung des Feldzentrums erregt und durch Beleuchtung der Feldperipherie gehemmt. Genau umgekehrt ist es bei den off-Zentrumfeldern, dort wirkt Beleuchtung des Zentrums hemmend und Beleuchtung der Peripherie erregend. Durch diese antagonistischen, also entgegengesetzten Wirkungen von Zentrum und Peripherie entsteht eine kollaterale Hemmung, die zur Kontrastierung beiträgt.^[3] Die insgesamt ca. 1 Million Ganglienzellen, beziehungsweise deren Axone, verbinden sich schließlich und treten in der Papille als Sehnerv nach Hinten aus dem Auge aus, wo der Weg weiter zum Chiasma führt.

Abbildung 2: Aufbau der Retina (oben)
und rezeptive Felder (unten)

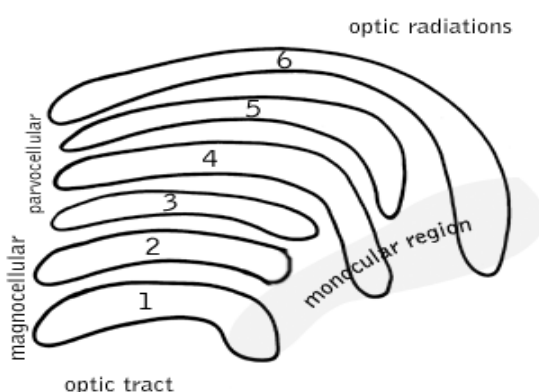
2.2 DAS CHIASMA

Im Chiasma treffen die Sehnerven aus rechtem und linkem Auge zusammen, wobei sich die Anteile der nasalen Netzhauthälfte kreuzen und jeweils auf der anderen Seite gemeinsam mit den Anteilen der temporalen Netzhauthälften, welche sich nicht kreuzen und auf der gleichen

Seite bleiben, als Tractus opticus der jeweiligen Seite zum Corpus geniculatum laterale weiterlaufen. Also erreicht eine Erregung der temporalen Netzhautseite des rechten Auges zusammen mit der Erregung der nasalen Netzhautseite des linken Auges das Corpus geniculatum laterale auf der rechten Gehirnhälfte. Analog kommt eine Erregung der temporalen Netzhautseite des linken Auges gemeinsam mit einer Erregung der nasalen Netzhautseite des rechten Auges beim Corpus geniculatum laterale in der linken Gehirnhälfte an. Der rechte Tractus opticus bildet sich somit aus den ungekreuzten Fasern der temporalen Netzhauthälfte des rechten Auges und den gekreuzten Fasern der nasalen Netzhauthälfte des linken Auges, also nur aus Fasern beider rechten Netzhauthälften, was den beiden linken Gesichtsfeldhälften entspricht. Analog gilt es für den linken Tractus opticus, der die Fasern beider linken Netzhauthälften enthält, was den rechten Gesichtsfeldhälften entspricht. ^[4]

2.3 CORPUS GENICULATUM LATERALE (CGL) (DER SEITLICHE KNEIHÖCKER)

Das Corpus geniculatum laterale, in der Folge abgekürzt mit CGL [Abb.3 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/Lateral_geniculate_nucleus.png ^[5]], ist eine wichtige Umschaltstation der Sehbahn. Hier enden ca. 90 Prozent der Fasern des Tractus opticus. Die restlichen 10 Prozent gelangen direkt an andere Stellen im Gehirn und werden anderweitig, zum Beispiel für den Pupillenreflex (Mittelhirn) oder für den Tag-Nacht-Zyklus (Hypothalamus), benötigt und verarbeitet. Das CGL besteht aus sechs Schichten, den beiden unteren, magnozellulären Schichten 1 bis 2 und den vier oberen, parvozellulären Schichten 3 bis 6. Die Schichten 1, 4 und 6 sind Ziel kontralateraler Projektionen, die Schichten 2,3,5 sind

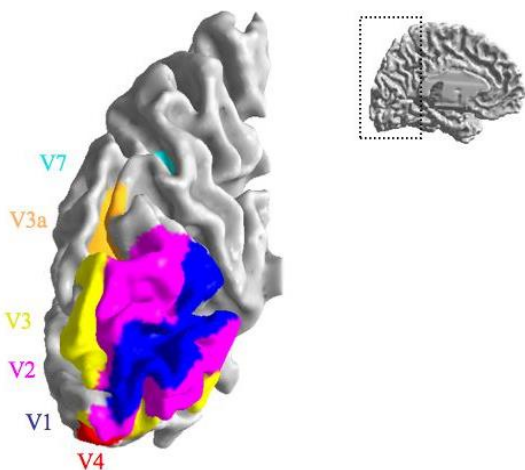


Ziel ipsilateraler Projektionen über den Tractus opticus. Dieser verzweigt sich in den Schichten und bildet Synapsen mit den CGL-Zellen. Sie projizieren die visuellen Reize und Signale als Gratioletsche Sehstrahlung (Radiatio optica) zum primären visuellen Cortex (Sehrinde).

Abbildung 3: Schema eines CGL eines Primaten

2.4 DER PRIMÄRE VISUELLE CORTEX BZW. SEHRINDE (BRODMANN AREAL 17, V1, AREA STRIATA)

Der primäre visuelle Cortex ist ein Teil der Großhirnrinde und liegt am hinteren Ende auf beide Gehirnhälften verteilt. Der primäre visuelle Cortex ist retinotop gegliedert, das heißt, dass benachbarte Punkte auf der Retina auch auf benachbarte Punkte im Cortex abgebildet werden. Er besteht wie der CGL aus sechs horizontalen Zellschichten und ist in drei vertikale Säulen, so genannte Kolumnen gegliedert. Diese sind die Orientierungssäulen, welche nur auf eine speziell ausgerichtete Linie auf der Retina auf einem speziellen Punkt der Retina reagiert. Ferner die Dominanzsäulen, die neben vielen Orientierungssäulen auch aus Blobs bestehen, die nicht auf Richtungen, sondern auf Farbe reagieren. Und die Hyperkolumnen, die aus zwei Dominanzsäulen, jeweils eine pro Auge, bestehen und das Verarbeitungsmodul der Sehrinde darstellen. Die Schichten sind in mehrere Zellarten, die einfachen, die komplexen und die hyperkomplexen bzw. endinhibierten Zellen, aufgeteilt. Schicht 4 ist die Haupteingangsschicht der vom CGL kommenden Nervenfasern. Sie enthält einfache Zellen, welche am stärksten auf streifenförmige Lichtreize in bestimmter Orientierung auf der Retina reagieren. Von hier werden die Signale auf die anderen Schichten, wie die komplexen Zellen, oder in andere Hirnareale weitergegeben. Die komplexen Zellen reagieren im Gegensatz zu den einfachen Zellen nicht auf statische Lichtbalken, sondern werden nur durch bewegte und richtig orientierte Lichtstreifen angeregt, wobei hier auch die Bewegungsrichtung, nämlich senkrecht zu Ausrichtung des Streifens, eine wichtige Rolle spielt. Die hyperkomplexen Zellen sind den komplexen Zellen ähnlich. Ihre Reaktion wird jedoch gehemmt, sobald ein Lichtstreifen zu lang ist. Die Verarbeitung von visuellen Reizen wird also zunehmend komplizierter und komplexer, die in den höheren visuellen Cortexarealen [Abb.4



<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/V1/LGN-V1-slides/Slide10.jpg> ^[7] wie V2 (Gestalt- und Konturerkennung), V3 (Bewegungen) und V4 (Farben) weitergeht. In V1 aber, werden die visuellen Informationen ausschließlich abgebildet, die höheren visuellen Zentren sind dann für das Erkennen und Interpretieren zuständig. ^[6]

Abbildung 4: Visuelle Cortexareale

2.5 HELBIGKEITSWAHRNEHMUNG

Die Helligkeitswahrnehmung macht deutlich, dass der Eindruck der Helligkeit einer Fläche auch durch deren Umgebung beeinflusst wird und die Helligkeit nicht nur von der physikalisch messbaren Leuchtdichte des reflektierenden Lichts dieser Flächen abhängt. Dies zeigt sich in einem einfachen Beispiel, wo eine graue Fläche auf weißem bzw. hellem Hintergrund dunkler erscheint, als dieselbe graue Fläche auf schwarzem bzw. dunklem Hintergrund. Unser visuelles System benötigt, um Gegenstände oder Formen mit ihren Konturen in einem in Grautönen gehaltenem Bild zu erkennen, Kontraste und muss diese auswerten. Kontraste entstehen, wenn Flächen unterschiedlicher Helligkeit aneinander grenzen. Die Wahrnehmung von Helligkeiten beruht also auf der Intensität (als Leuchtdichte physikalisch messbar) des reflektierten Lichtes. Der Zusammenhang zwischen der Leuchtdichte und der empfundenen Helligkeit wird durch das Potenzgesetz nach Stevens beschrieben ^[8]. Das Gesetz lautet: $E = k * R^n$ (E = Empfindung, k = Konstante, R = Reizstärke und n = Stevens Exponent (bei Helligkeiten: $n = 0,33$)). Da unser visuelles System eben auch die Umgebung zur Wahrnehmung heranzieht und diese miteinberechnet, sehen wir eine weiße Fläche als weiß, egal welche Beleuchtungsverhältnisse vorliegen und es bleibt der Wahrnehmungseindruck „weiß“ erhalten. Dies entspricht der Helligkeitskonstanz. Weitere solcher Leistungen unserer visuellen Verarbeitung sind die Farbkonstanz und die Größenkonstanz. Eine weitere wichtige Eigenschaft des visuellen Systems, die bei der Hell-Dunkel-Wahrnehmung eine Rolle spielt, ist die „Laterale Hemmung“ [Abb.5 Hagendorf, Krummenacher, Müller, Schubert 2011 ^[8]], welche einige Kontrastphänomene erklärt. Sie wird immer dann eingesetzt, wenn Kontraste verstärkt werden sollen. Es ist ein Hemmungsprozess, der durch die horizontalen Verschaltungen in der Retina entsteht. Jeder Rezeptor (A, B, C, D, E, F) hemmt seinen Nachbarn um einen bestimmten Prozentsatz seiner eigenen Grundaktivität (in diesem Beispiel 10 %). A, B, C liegen auf einer hellgrauen Fläche (hohe Intensität) und größerer Grundaktivität, D, E, F liegen auf einer dunkelgrauen Fläche (niedrige Intensität) und haben somit eine kleinere Grundaktivität und hemmen deshalb ihre Nachbarn weniger stark. ^[8]

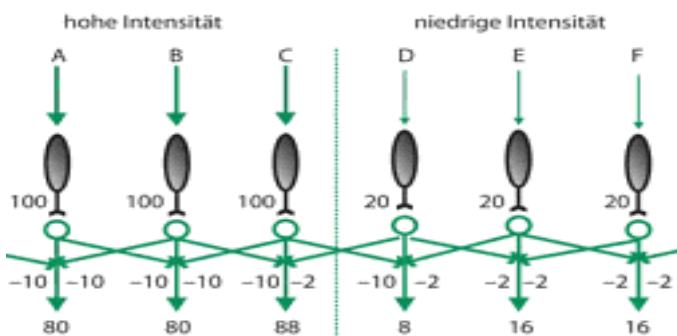


Abbildung 5: Prinzip der lateralen Hemmung

3 WAHRNEHMUNG VON HELL UND DUNKEL

3.1 GESCHICHTE DER WAHRNEHMUNG VON HELL UND DUNKEL

In diesem Absatz soll die Geschichte der optischen Hell-Dunkel-Wahrnehmungstäuschungen, oder kurz Kontrasttäuschungen, aufgezeigt werden. Sucht man im Internet nach optischen Täuschungen allgemein, wird man mit ziemlicher Sicherheit auch auf eine so genannte Kontrasttäuschung treffen, nämlich der „Checker Shadow Illusion“ (Schachbrett - Schattentäuschung) von Edward H. Adelson von 1995 [Abb.6 Adelson 1995 ^[9]].

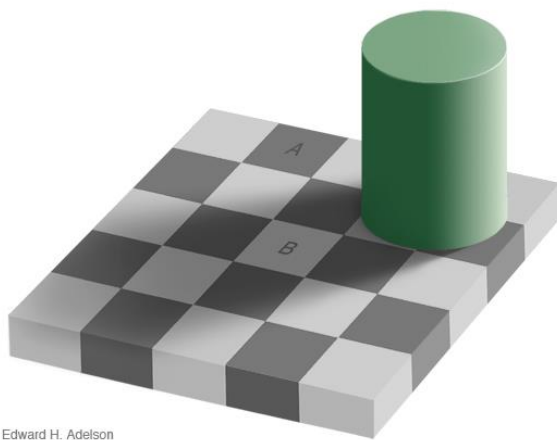


Abbildung 6: Checker Shadow Illusion

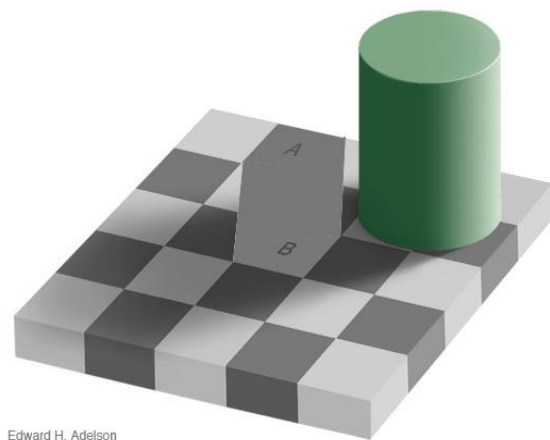


Abbildung 7: Auflösung von Abb. 6

Erklärung:

Das in Abbildung 6 im vermeintlichen Schatten liegende Feld B erscheint für den Betrachter heller, als das weiter oben liegende, ausgeleuchtete Feld A. Verbindet man allerdings den Zwischenbereich der Felder A und B mit dem gleichen Farbton wie bei Feld A, wie in Abbildung 7 geschehen, sieht man, dass beide Felder gleich sind. Technisch unterscheidet man zwischen der Helligkeit, also dem, was man wahrnimmt, und der physikalischen Leuchtdichte, welche man auf Flächen messen kann. Die Helligkeit der Felder A und B wird also unterschiedlich wahrgenommen, wobei ihre Leuchtdichte aber gleich ist. Unser Sehsystem stellt das Bild räumlich dar, man sieht also einen grünen Zylinder, der einen Schatten nach links unten wirft. Folglich wird auf eine Lichtquelle von oben rechts kommend geschlossen. Unser Sehsystem zieht die vermutete Beleuchtung ab, um auf die „wahre“ Helligkeit von A und B, unabhängig von der Beleuchtung, zu kommen. Das Feld, das von einem dunkleren Feld umgeben ist, erscheint heller und die weichen Helligkeitsübergänge

werden eben als Schatten wahrgenommen und von unserem Sehsystem herausgerechnet. Die harten Kanten der Felder des Schachbrettes aber lassen auf eintönige Farbflächen schließen. Da Helligkeiten von Flächen immer im Vergleich zur Umgebung und vom lokalen Kontrast bewertet werden, das heißt nie absolut, kann dies zu solchen Wahrnehmungstäuschungen führen. Das heißt, es kommt nur auf Verhältnisse und nicht auf absolute Leuchtdichten an und die wahrgenommenen Helligkeiten stimmen häufig nicht mit den absoluten Werten überein. Die Wahrnehmung von Kontrasten bleibt dabei über mehrere Zehnerpotenzen der Intensität der Beleuchtung weitgehend konstant. Hierbei handelt es sich also um einen Simultankontrast, von dem hier aber durch die künstlerische Anordnung abgelenkt wird.^[10]

Natürlich ist die Schachbrett-Schattentäuschung von Edward H. Adelson (1995) nicht die erste Kontrasttäuschung. Schon Leonardo da Vinci hat im Jahre 1519 exakte Regeln für Maler formuliert, den Kontrast zwischen Schwarz und Weiß, zum Beispiel durch Verwendung des Simultankontrastes, auszunutzen. Es waren also bereits in der Antike die Kontrastphänomene bekannt, die auftreten, wenn zwei andersfarbige Flächen aneinander grenzen.^[11]

Einen wichtigen Meilenstein in dieser Geschichte bildet ein „Helligkeitskontrast“ von Hermann von Helmholtz. Er erarbeitete den so genannten Simultankontrast ausführlich. Dieser Simultankontrast [Abb.8 Helmholtz 1862] ist schon in seinem Handbuch der physiologischen Optik 1862 beschrieben^[10]. Hier sieht man zwei gleich graue kleine Quadrate, von denen eines links in einem weißen größeren Quadrat und das andere rechts, in einem schwarzen größeren Quadrat liegt. Das linke kleine Quadrat erscheint dabei dunkler zu sein, als das rechte. Durch Verbinden der Quadrate mit dem gleichen Grauton, wie es in Abbildung 9 zu sehen ist, oder dadurch, dass man um die kleinen Quadrate den gleichfarbigen Hintergrund setzt, in diesem Falle weiß, wie es in Abbildung 10 dargestellt ist, sieht man, dass beide kleinen Quadrate ein und denselben Grauton haben. Die Helligkeit dieser Quadrate oder auch von anderen Flächen hängt also mehr von der Helligkeit der benachbarten Flächen ab, als von ihrer eigenen. Für dieses Phänomen gibt es zwei Lösungstheorien. Zum einen die laterale Hemmung, die die Kontraste zwischen den kleinen Quadraten und deren Umgebung noch mehr betont und verstärkt und so ein Grau auf einem hellen (weißen) Hintergrund dunkler aussieht als ein Grau auf einem dunklen (schwarzen) Hintergrund. Die andere Theorie besagt, dass die zwei verschiedenen Hintergründe verschiedene Beleuchtungen darstellen, wobei das Sehsystem dies versucht zu kompensieren. Folglich meint man ein helleres Quadrat in einer dunklen Beleuchtung und ein dunkleres Quadrat in einer hellen Beleuchtung zu sehen.^[11]

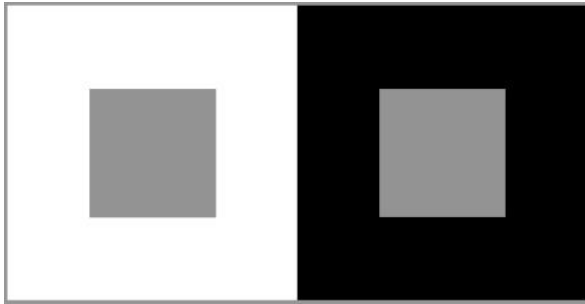


Abbildung 8: Simultankontrast nach Helmholtz, 1862

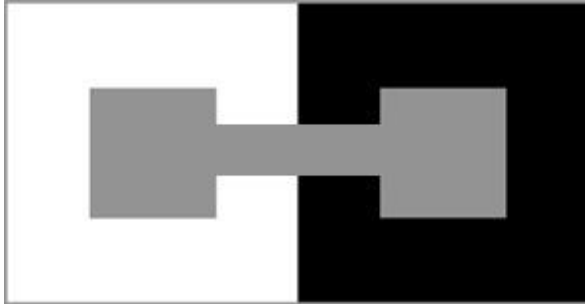


Abbildung 9: Auflösung des Simultankontrastes (1)

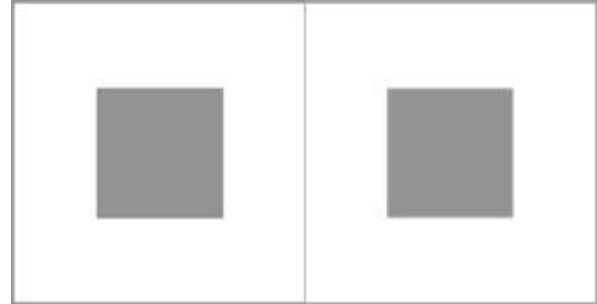


Abbildung 10: Auflösung des Simultankontrastes (2)

Dieser Simultankontrast-Effekt scheint größer zu sein, wenn die Kontrastdifferenz zwischen den beiden Hintergründen kleiner ist, also nicht Weiß zu Schwarz, sondern so wie in Abbildung 11 ^[12] zu sehen ist, ein Hellgrau und ein Dunkelgrau. Wobei das Grau der kleinen Quadrate einen Grauwert besitzt, der zwischen den beiden äußeren liegt. In Abbildung 12 ^[12] erfährt man nochmal eine Steigerung dieses Effektes, wenn die beiden Hintergründe verpixelt, aber trotzdem noch deutlich als heller und dunkler zu erkennen, dargestellt sind.



Abbildung 11 [Adelson 2000 ^[12]]: Simultankontrast-Effekt verstärkt



Abbildung 12 [Adelson 2000 ^[12]]: Simultankontrast-Effekt nochmals verstärkt

Falzkannte

Zur Auflösung und Kontrolle, ob die beiden kleinen, inneren Quadrate aus Abbildung 11 und 12 wirklich jeweils gleich sind, bitte diesen Bereich an der Falzkannte nach oben klappen.

Ein weiterer Eckpfeiler in der Geschichte der Hell-Dunkel-Wahrnehmungsphänomene war Ewald Hering's Beitrag „Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn“ in dem damaligen Standardwerk „Handbuch der Augenheilkunde“ im Jahre 1907. In diesem Buch hat er den Übergang dieser Täuschung in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte dargestellt ^[10]. Ein Bild, das direkt aus diesem Buch gescannt ist, ist in Abbildung 13 ^[10] zu sehen. Es ist so zu sagen ein erweiterter Simultankontrast von Helmholtz. Hering hat hier das ganz linke und ganz rechte Feld, welche nebeneinander gesetzt der Abbildung 8 entsprechen, um ein paar Zwischenstufen erweitert. Die Hintergrundrechtecke werden von links (weiß) nach rechts (schwarz) immer dunkler, und die grauen Punkte in der Mitte der jeweiligen Rechtecke scheinen immer heller zu werden, obwohl sie natürlich überall die gleiche Helligkeit aufweisen und eben gleich grau sind. Eine modernere Variante zu Hering's Simultankontrast und deren Auflösung ist in den Abbildungen 14 und 15 dargestellt. [Abb.14, 15 http://www.sapdesignguild.org/goodies/optical_illusions/contrast_phenomena.html ^[13]]

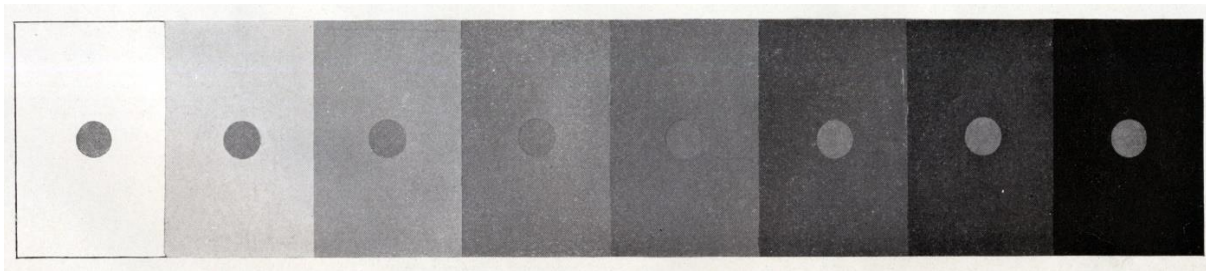


Abbildung 13: Erweiterter Simultankontrast nach Hering

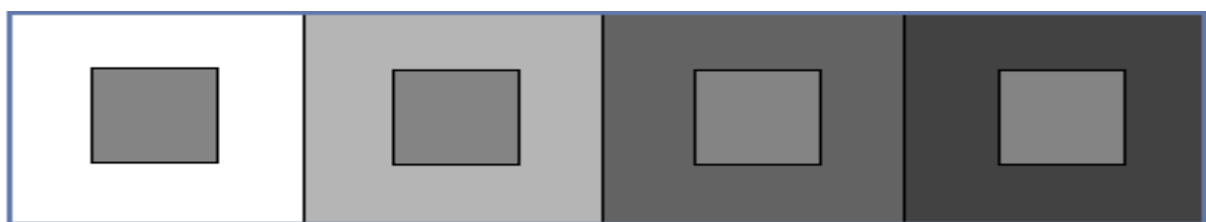


Abbildung 14: Modernere Variante des Simultankontrastes nach Hering

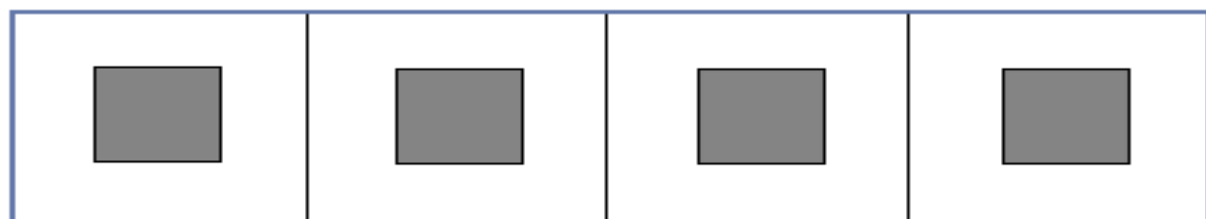


Abbildung 15: Auflösung der Abbildung 14 mit gleichfarbigem Hintergrund (weiß)

Durch die heutzutage computertechnischen neuen Möglichkeiten, ist es ein leichtes mit diversen Grafikprogrammen, viele neue und verschiedene solcher Hell-Dunkel-Phänomene zu kreieren. So hat Mark McCourt in seiner PhD-Arbeit 1982 über neuartige Helligkeitsphänomene geschrieben und hat dabei ein paar neue Täuschungen entdeckt ^[10]. Das Bild von McCourt in Abbildung 16 ^[10] ist eine geschickte Weiterentwicklung des Simultankontrastes von Helmholtz. Anstatt einzelner, immer dunkler werdenden Rechtecke, setzt McCourt hier auf einen Helligkeitsgradienten, der im Hintergrund fließend von Hell (weiß) nach Dunkel (schwarz) verläuft. Der obere graue Balken scheint von links nach rechts immer heller zu werden, wobei der untere Balken gleichmäßig grau erscheint.

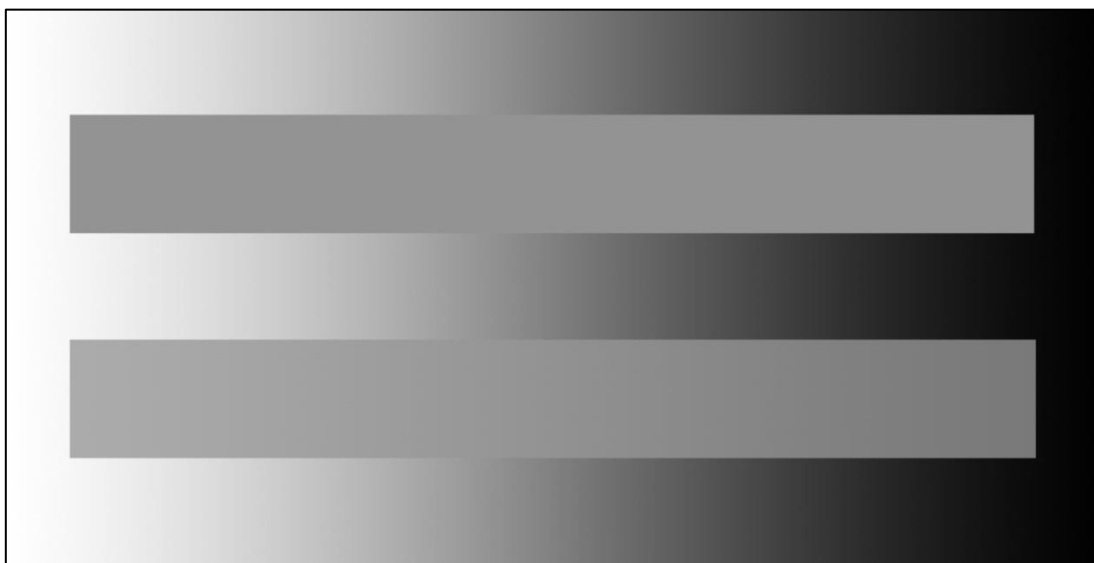


Abbildung 16: Helligkeitsgradient nach McCourt

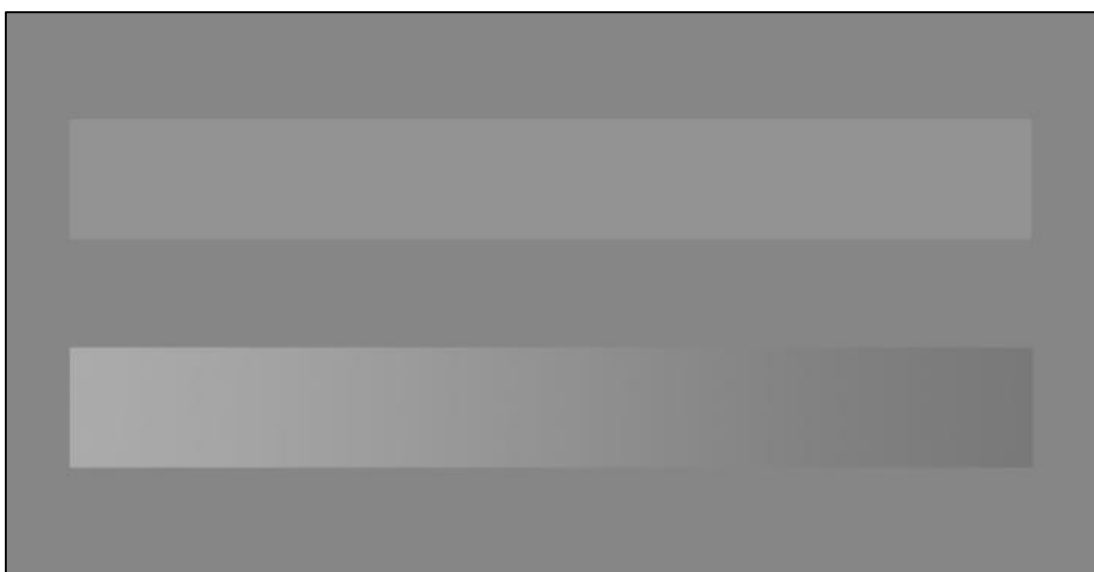
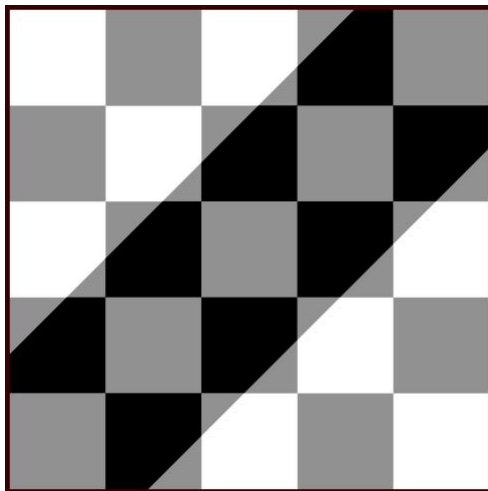


Abbildung 17: Auflösung zu Abbildung 16

In Abbildung 17 ^[10] wird die Auflösung zur Abbildung 16 gezeigt. Der im Hintergrund liegende Helligkeitsgradient wird hier durch einen einfarbigen Hintergrund in einem Grauton ausgetauscht. Sogleich sieht man, dass der obere Balken, den man zuerst für den „falschen“ Balken gehalten hat, eigentlich doch von links nach rechts gleichmäßig grau ist und somit der „richtige“ ist. Der untere Balken ist jetzt nicht gleichmäßig grau, wie vorher angenommen, sondern beschreibt ebenfalls einen Helligkeitsgradienten, der genau wie der Helligkeitsgradienten im Hintergrund der Abbildung 16 auch von links nach rechts immer dunkler wird. Somit wird die Täuschung in Abbildung 16 weitestgehend aufgehoben. Die Auflösung kann man auch erreichen, indem man den Hintergrund aus Abbildung 16 abdeckt. Daraus folgt eben wieder, dass das Gehirn nur Helligkeitsverhältnisse bewertet und nicht die absoluten Leuchtdichten. Erst in Abbildung 17 zeigen sich die wahren Verhältnisse. ^[10]

1995 folgt dann mit der Checker Shadow Illusion von Edward H. Adelson, wie oben näher beschrieben, ein weiteres geniales Beispiel für ein optisches Phänomen des Simultankontrastes. Dazu gibt es auch ein Bild [Abb.18 Bernd Lingelbach 2012 ^[10]] von Prof. Dr. Bernd Lingelbach, das auf das Wesentliche reduziert wurde. In diesem Bild gibt es nur



drei Farbtöne, nämlich weiß, grau und schwarz. Die grauen Quadrate im „Schatten“ erscheinen zwar heller als die Quadrate außerhalb, sind jedoch gleich, was schließlich wieder auf den Effekt des Simultankontrastes schließen lässt, denn graue Flächen auf dunklem (schwarzem) Hintergrund erscheinen heller, als die gleich grauen Flächen auf hellem (weißem) Hintergrund.

Abbildung 18: Reduzierter Schachbrett-Schatten

2012 fand in Alghero eine Ausstellung mit vielen optischen Phänomenen statt, in der auch Alan Gilchrist vertreten war. Gilchrist hat unter anderem auch zwei Hell-Dunkel-Wahrnehmungsphänomene kreiert, von denen er eins in der Ausstellung von Alghero ausstellte. Diese beiden Phänomene werden nachgebaut und in Kapitel 4 ausführlich beschrieben.

3.2 WEITERE BEISPIELE

„White’s Illusion“:

Bei diesem Phänomen sieht man am Anfang sechs gleich graue Balken, wobei drei davon seitlich und in der Höhe versetzt sind.



Abbildung 19 [Adelson 2000 ^[14]]: White’s Illusion: Am Anfang nur graue Balken

Ergänzt man dies nun mit schwarzen Balken und ordnet diese so an, wie rechts zu sehen ist, meint man, dass die linken grauen Balken, die auf den schwarzen Balken liegen, heller sind, als die rechten grauen Balken, die zwischen den schwarzen Balken liegen.

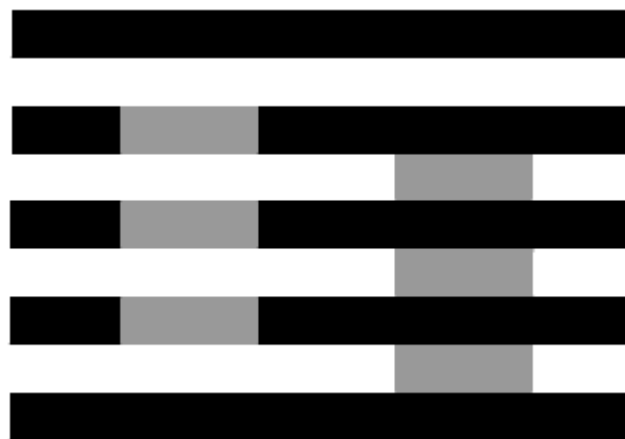


Abbildung 20 [Adelson 2000 ^[14]]: White’s Illusion: Graue und schwarze Balken

Werden nun die grauen kleinen Balken nach links ineinander geschoben, sieht man, dass alle denselben Grauwert haben und somit ein großes gleich graues Rechteck entsteht.



Abbildung 21 [Adelson 2000 ^[14]]: White’s Illusion: Auflösung

Der Koffka-Ring:

Ein grauer Ring auf einem Rechteck, mit einer helleren Hälfte und einer dunkleren Hälfte, als der Ring selber.

Man sieht, dass der komplette Ring die gleiche Leuchtdichte hat und auch so Wahrgenommen wird.



Abbildung 22 [Adelson 2000 ^[15]]: Koffka-Ring geschlossen

Werden nun die beiden Hälften seitlich voneinander trennt, ergibt sich wieder die bekannte Illusion von verschiedenen Leuchtdichten bzw. Grautönen des Ringes. Dieser Effekt lässt sich auch erzeugen, indem man einen dünnen Gegenstand, z.B. einen Bleistift, senkrecht auf die Mitte des oben gezeigten geschlossenen Koffka-Ringes legt.



Abbildung 23 [Adelson 2000 ^[15]]: Koffka-Ring seitlich getrennt

Den Effekt erhält man auch, indem man die zwei Hälften senkrecht gegeneinander leicht verschiebt.



Abbildung 24 [Adelson 2000 ^[15]]: Koffka-Ring senkrecht getrennt

„The Craik-O’Brien-Cornsweet“ Effekt:

Bei diesem Phänomen werden aus einem von Hell nach Dunkel verlaufendem Gradienten, wie er in Abbildung 25 zu sehen ist, zwei identische Quadrate aus der gleichen Stelle, aus der Mitte des Gradienten, herausgeschnitten und mit Abstand nebeneinander gesetzt.



Abbildung 25 [Adelson 2000 ^[16]]: „The Craik-O’Brien-Cornsweet“ Effekt Helligkeitsgradient



Abbildung 26 [Adelson 2000 ^[16]]: „The Craik-O’Brien-Cornsweet“ Effekt getrennt

Setzt man nun diese beiden Quadrate zusammen, erhält man den Effekt, dass das linke dunkler wahrgenommen wird, als das rechte.

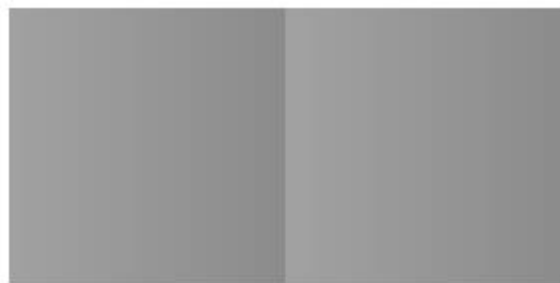


Abbildung 27 [Adelson 2000 ^[16]]: „The Craik-O’Brien-Cornsweet“ Effekt nebeneinander

Dreht man die Quadrate um 90 Grad, sieht man wieder, dass sie völlig identisch sind.

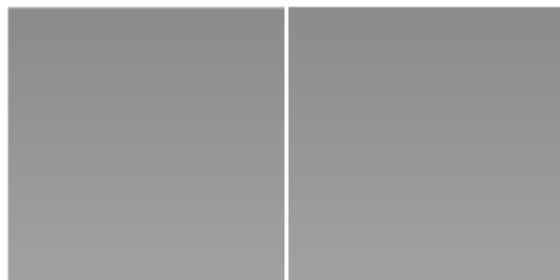


Abbildung 28 [Adelson 2000 ^[16]]: „The Craik-O’Brien-Cornsweet“ Effekt gedreht

4 ZWEI BEISPIELE OPTISCHER PHÄNOMENE

4.1 EINE „REVERSPECTIVE“ PYRAMIDE

In der Abbildung 29 [Abb.29 Gilchrist 2012 ^[10]] ist das Original dieses Phänomens von Alan

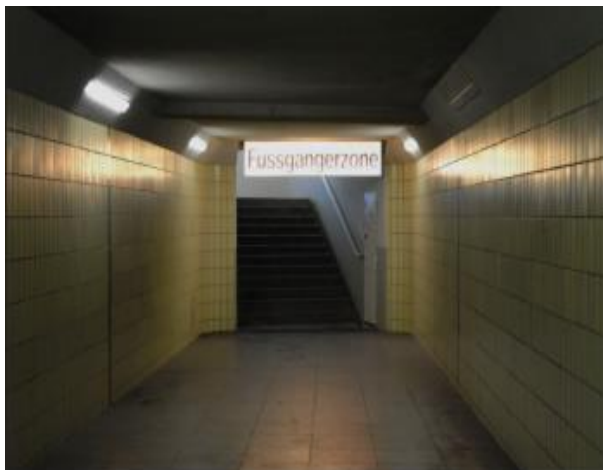


Gilchrist von vorne fotografiert zu sehen. Man glaubt, auf diesem Bild in die Tiefe in einen Flur zu schauen. In Wirklichkeit ist dieses Gebilde räumlich und streckt sich nach vorn heraus. Es ist sozusagen eine abgeschnittene, stumpfe Pyramide. Der Künstler Patrick Hughes hat für diese Art optische Täuschung den Begriff „reverspective“ eingeführt. Diese Technik war hier nötig, um die Decke, die nur ein schwarzer Karton mit drei aufgeklebten weißen Streifen ist, beleuchten zu können. Dadurch meint man die Decke wäre grau und die drei Streifen wären die Deckenleuchten. Diese Täuschung ist meistens monokular besser zu sehen, als binokular.

Abbildung 29: Original von Alan Gilchrist

4.1.1 BAU

Diese optische Täuschung wird nun mit einem anderen, eigenen Motiv nachgebaut. Am

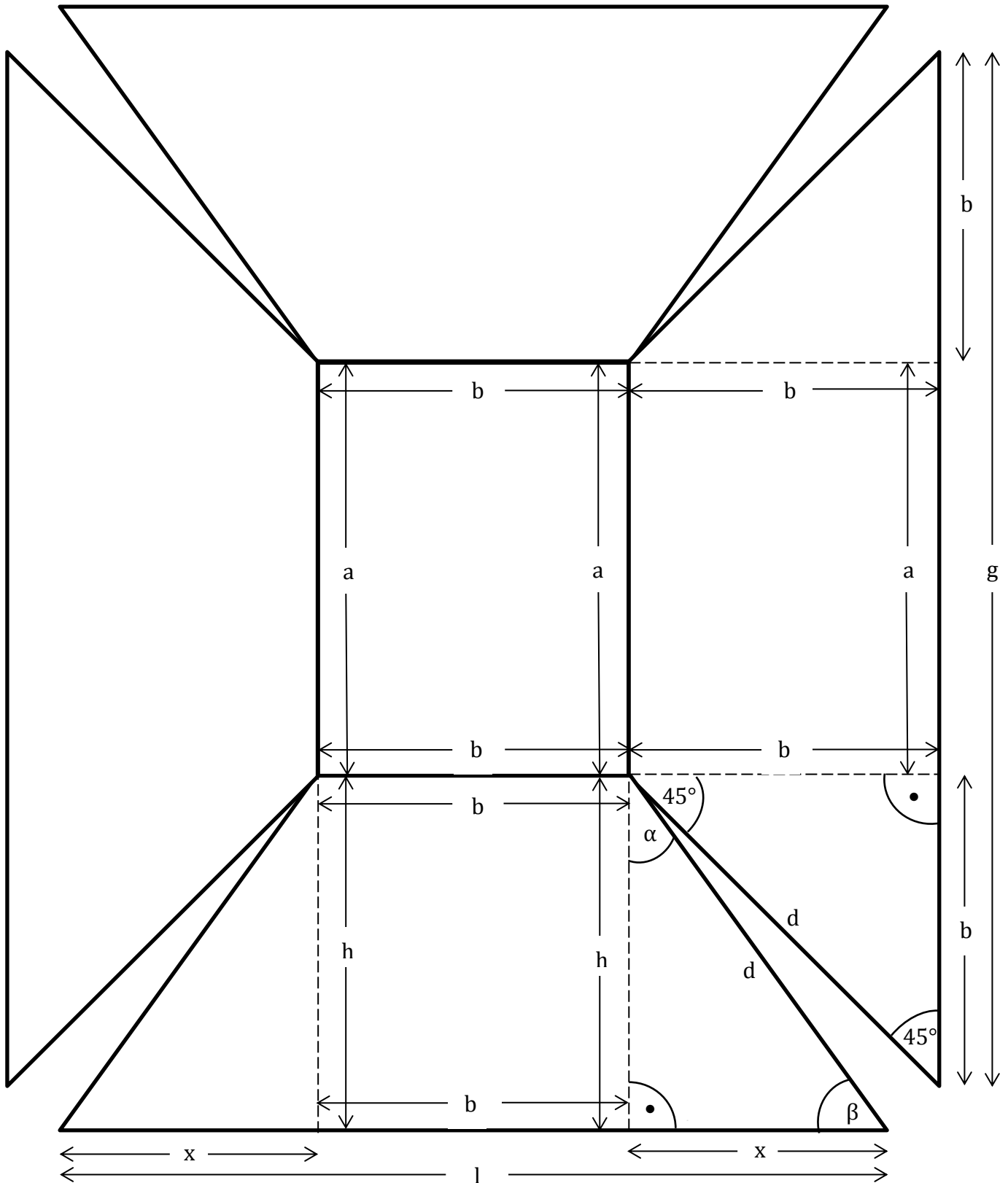


besten eignet sich dazu ein länglicher Flur bzw. Gang, sowie es eben im Original von Alan Gilchrist oder auch in Abbildung 30 zu sehen ist. Diese zeigt eine Unterführung für Personen hin zu einer Fußgängerzone. Das Bild wird später dann so bearbeitet, das es optimal für dieses Phänomen passt.

Abbildung 30: Eigenes Motiv

Als nächstes wird eine Skizze erstellt, wo die exakten Maße aus vorgegebenen Längen und Verhältnissen berechnet und eingetragen werden.

Skizze: Maßstabsgetreu im Maßstab 1:2



Berechnungen:

Gegeben: $a = 150 \text{ mm}$, $b = \frac{3}{4} * a = 112,5 \text{ mm}$, $l = \frac{4}{5} * g$

Lösung: $g = a + 2 * b = 150 \text{ mm} + 2 * 112,5 \text{ mm} = 375 \text{ mm}$

$$\Rightarrow l = \frac{4}{5} * g = \frac{4}{5} * 375 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

$$l = b + 2 * x$$

$$\Rightarrow x = (l - b) / 2 = (375 \text{ mm} - 112,5 \text{ mm}) / 2 = 93,75 \text{ mm}$$

$$d^2 = b^2 + b^2 = 2 * b^2 \text{ (Satz des Pythagoras)}$$

$$\Rightarrow d = b * \sqrt{2} = 112,5 \text{ mm} * \sqrt{2} = 159,1 \text{ mm}$$

$$d^2 = x^2 + h^2 \Rightarrow h^2 = d^2 - x^2$$

$$\Rightarrow h = \sqrt{d^2 - x^2} = \sqrt{159,1 \text{ mm}^2 - 93,75 \text{ mm}^2} = 128,54 \text{ mm}$$

$$\tan \alpha = x / h = 93,75 \text{ mm} / 128,54 \text{ mm} = 0,73$$

$$\Rightarrow \alpha = 36,1^\circ$$

$$\Rightarrow \beta = 180^\circ - 90^\circ - 36,1^\circ = 53,9^\circ$$

Das eigene Motiv wird dann mit einem Bildbearbeitungsprogramm, wie zum Beispiel Adobe Photoshop, am Computer so bearbeitet, dass es exakt den Maßen der Skizze entspricht. Als erstes werden die einzelnen Teilelemente, also die zwei Seitenwände, der Boden und die Frontseite digital ausgeschnitten. Die Decke wird komplett weggeschnitten und durch ein schwarzes Teilstück mit weißem Streifen in der Mitte ersetzt. Nun werden die Teile noch in der Größe verändert, wobei die rechteckige Frontseite nur skaliert, also nicht verzerrt, auf die richtigen Maße gebracht wird. Die beiden Seitenteile, der Boden und die Decke hingegen müssen mit dem Bildbearbeitungsprogramm so verzerrt und auf die oben errechneten Maße gebracht werden, dass sie eben genau als Seitenwände, Boden und Decke auf die jeweiligen Seiten einer stumpfen, abgeschnittenen Pyramide passen. Diese vier Teilelemente haben ein gleichseitiges Trapez als Grundform, wobei jeweils die zwei Seitenwände und jeweils Boden und Decke die gleichen Maße aufweisen und die gleiche Form haben. Fügt man nun diese vier Einzelteile wieder exakt an die Frontseite an, erhält man das in Abbildung 31 dargestellte Bild.

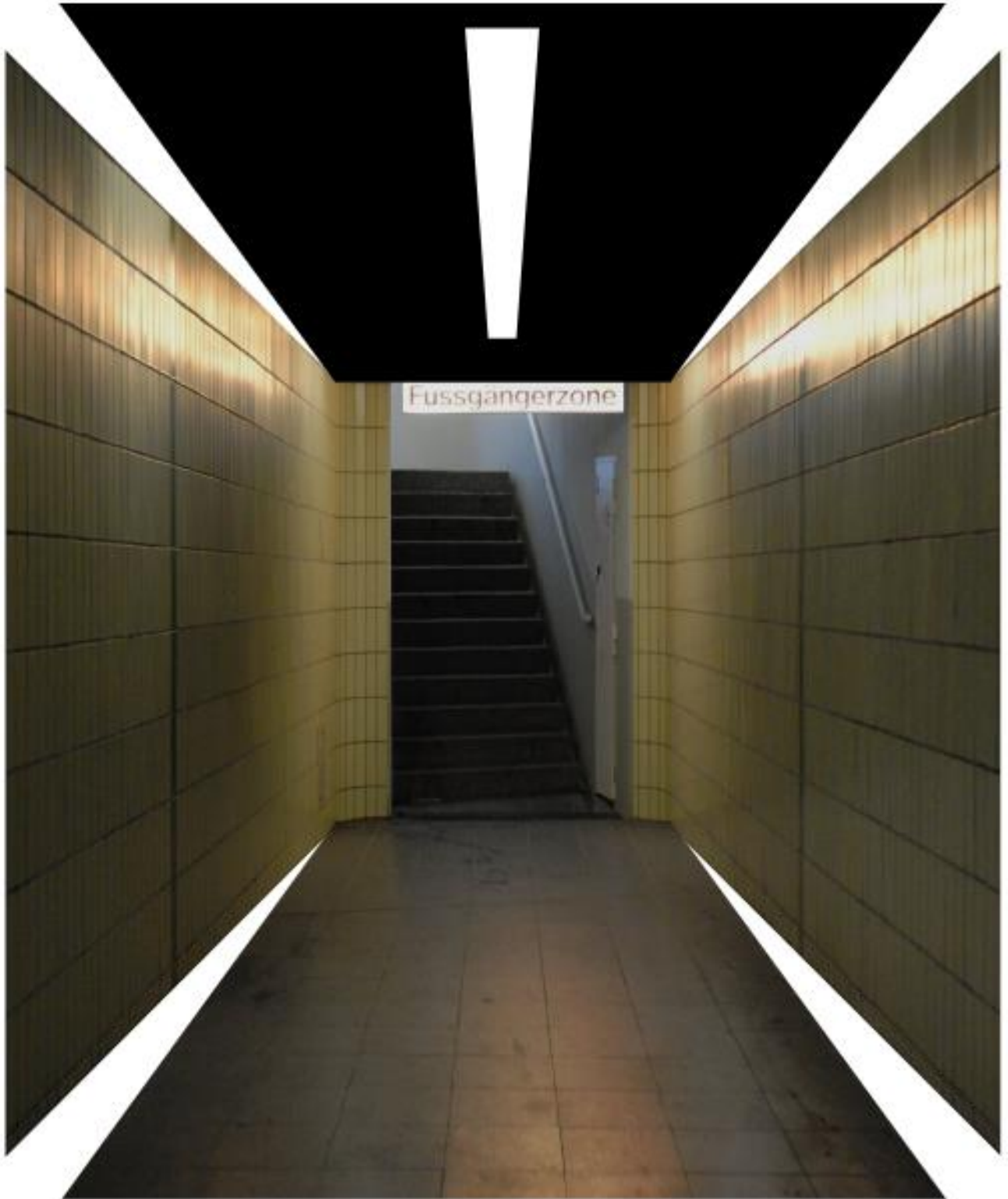
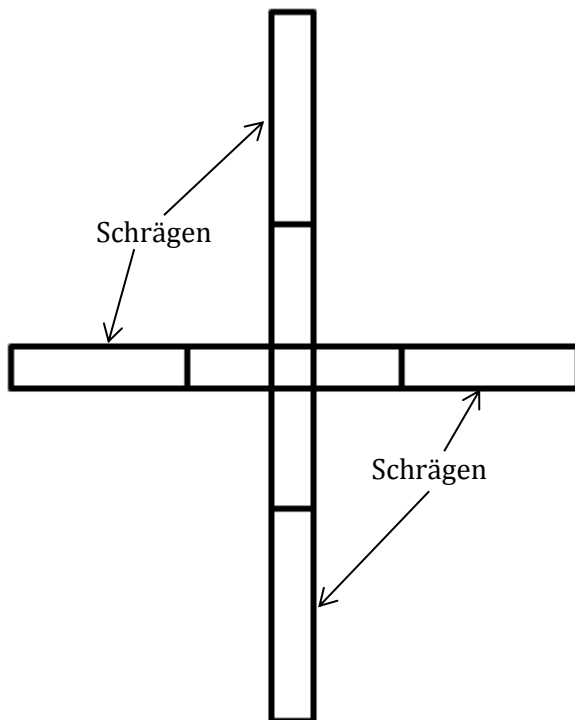


Abbildung 31: Grundmotiv bearbeitet und zusammengefügt

Alle fünf Einzelteile werden anschließend einzeln auf Papier ausgedruckt, zurechtgeschnitten und auf Hartschaumplatten der Stärke 3 mm, welche ebenfalls auf die jeweils entsprechenden Maße ausgesägt wurden, aufgeklebt. Anschließend verbindet man die zwei Seitenteile, den

Boden und die Decke wieder so mit der Frontseite, wie in Abbildung 31 zu sehen ist und klebt diese zusammen. Sodann werden die schrägen Kanten der gleichseitigen Trapeze von jeweils



einem Seitenstück und Boden bzw. Decke verbunden und verklebt. Dabei entsteht dann automatisch ein räumliches Gebilde, eben jene stumpfe Pyramide. Zur Stabilisierung wird das Ganze auf einer Grundkonstruktion aus Holz befestigt. Diese Grundkonstruktion hat die Form eines Kreuzes und besteht aus einer Querstrebe und einer Längstrebe, wie es in Abbildung 32 und 33 gezeigt wird.

Abbildung 32: Skizze Grundkonstruktion (Draufsicht): Maßstabsgetreu im Maßstab 1:4

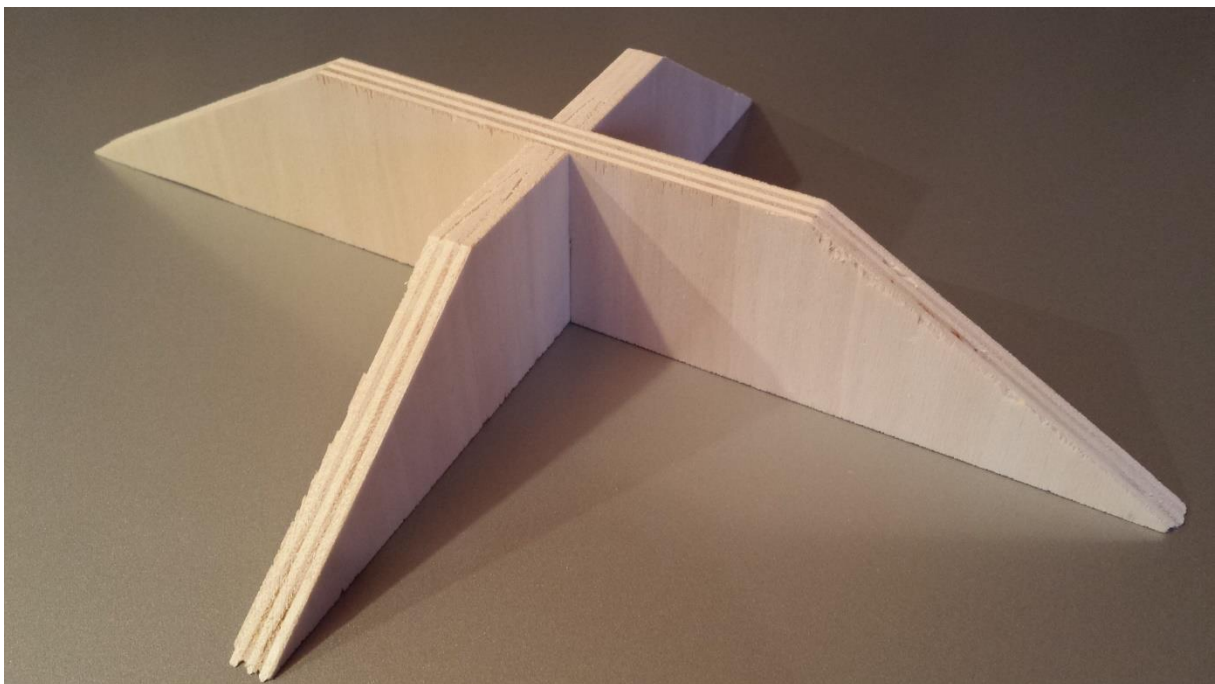
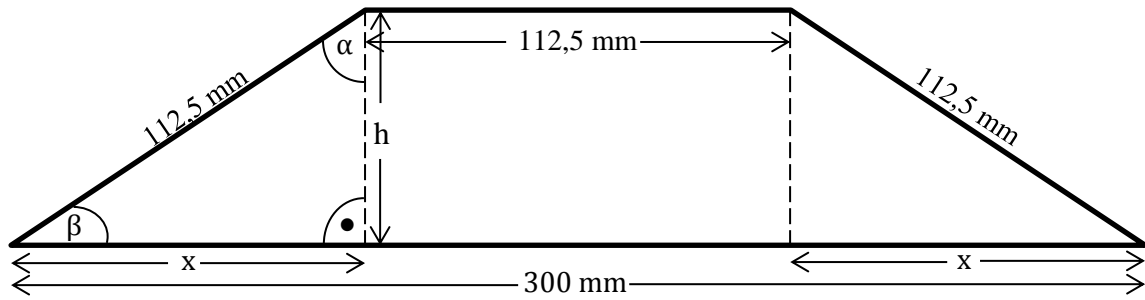


Abbildung 33: Grundkonstruktion Schrägansicht

Skizze und Berechnungen Querstrebe (Seitenansicht): Maßstabsgetreu im Maßstab 1:2



Lösung: $112,5 \text{ mm} + 2 * x = 300 \text{ mm} \Rightarrow x = (300 \text{ mm} - 112,5 \text{ mm}) / 2$

$\Rightarrow \underline{x = 93,75 \text{ mm}}$

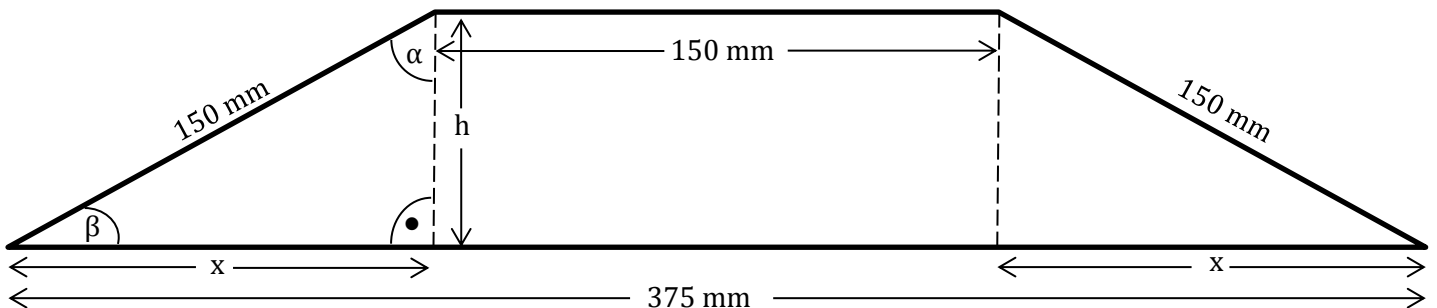
$112,5^2 \text{ mm} = x^2 + h^2 \Rightarrow h^2 = 112,5^2 \text{ mm} - x^2 = 112,5^2 \text{ mm} - 93,75^2 \text{ mm}$

$\Rightarrow \underline{h = 62,19 \text{ mm}}$

$\sin \alpha = x / 112,5 \text{ mm} = 93,75 \text{ mm} / 112,5 \text{ mm} = 0,83$

$\Rightarrow \underline{\alpha = 56,44^\circ} \quad \rightarrow \underline{\beta = 33,56^\circ}$

Skizze und Berechnungen Längstrebe (Seitenansicht): Maßstabsgetreu im Maßstab 1:2



Lösung: $150 \text{ mm} + 2 * x = 375 \text{ mm} \Rightarrow x = (375 \text{ mm} - 150 \text{ mm}) / 2$

$\Rightarrow \underline{x = 112,5 \text{ mm}}$

$128,54^2 \text{ mm} = x^2 + h^2 \Rightarrow h^2 = 128,54^2 \text{ mm} - x^2 = 128,54^2 \text{ mm} - 112,5^2 \text{ mm}$

$\Rightarrow \underline{h = 62,19 \text{ mm}}$

$\sin \alpha = x / 128,54 \text{ mm} = 112,5 \text{ mm} / 128,54 \text{ mm} = 0,87$

$\Rightarrow \underline{\alpha = 61,07^\circ} \quad \rightarrow \underline{\beta = 28,93^\circ}$

Am Schluss befestigt man noch das räumliche Papier-Hartschaum-Gebilde mit der Grundkonstruktion aus Holz. Die fertige Täuschung ist in Abbildung 34 zu sehen.

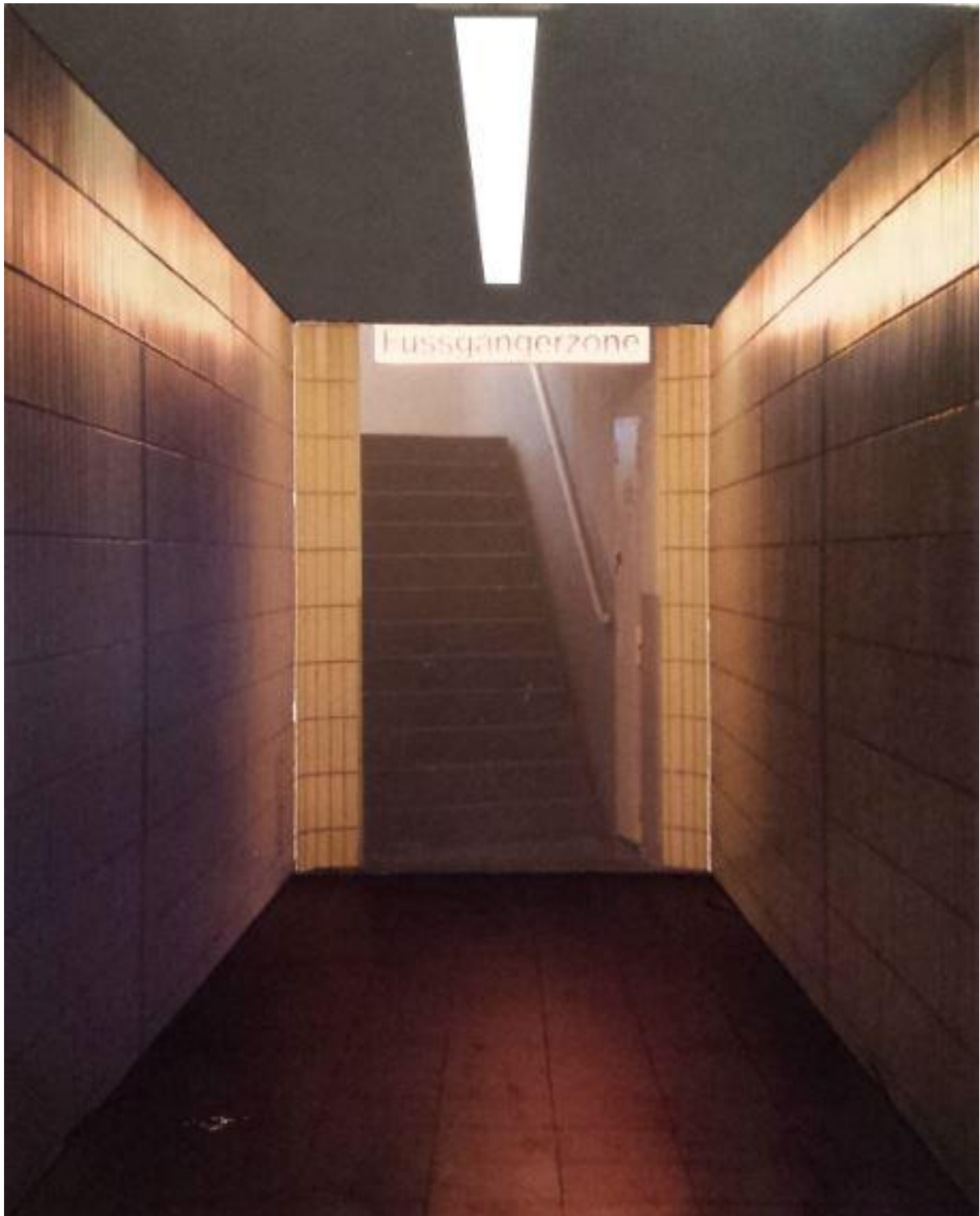


Abbildung 34: Fertige Täuschung

4.2 „DIAPROJEKTOR“ (AUS SCHWARZ MACH WEIß)

Bei diesem Projekt wird eine weitere Helligkeitstäuschung von Alan Gilchrist nachgebaut.

4.2.1 BAU

Skizze (Seitenansicht): Maßstabsgetreu im Maßstab 1:6

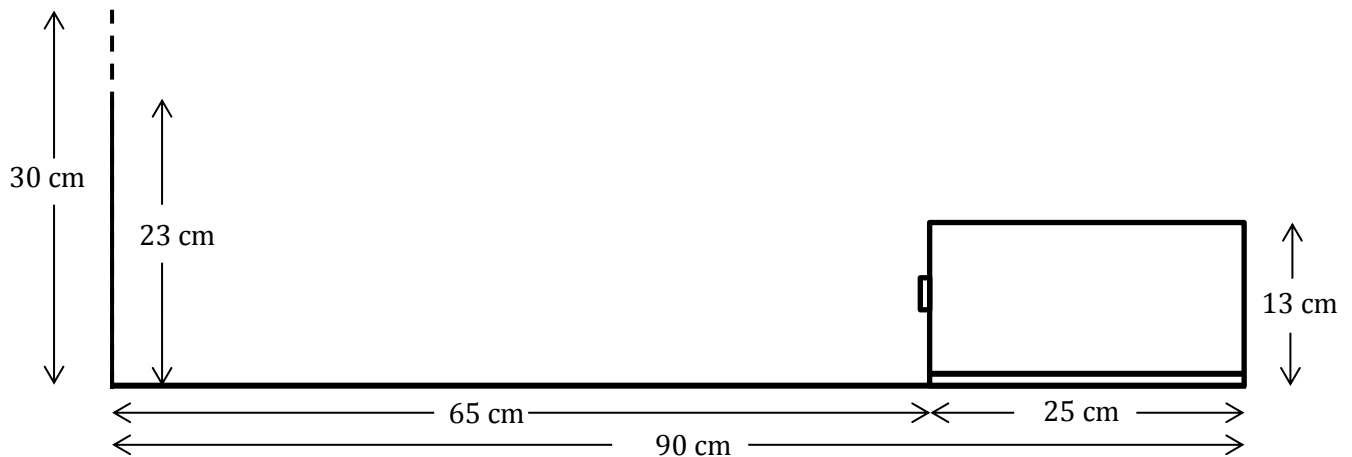


Abbildung 35: Original: Seitenansicht



Abbildung 36: Original: Seitenansicht mit weißen Hintergrund (hochgeklappt)

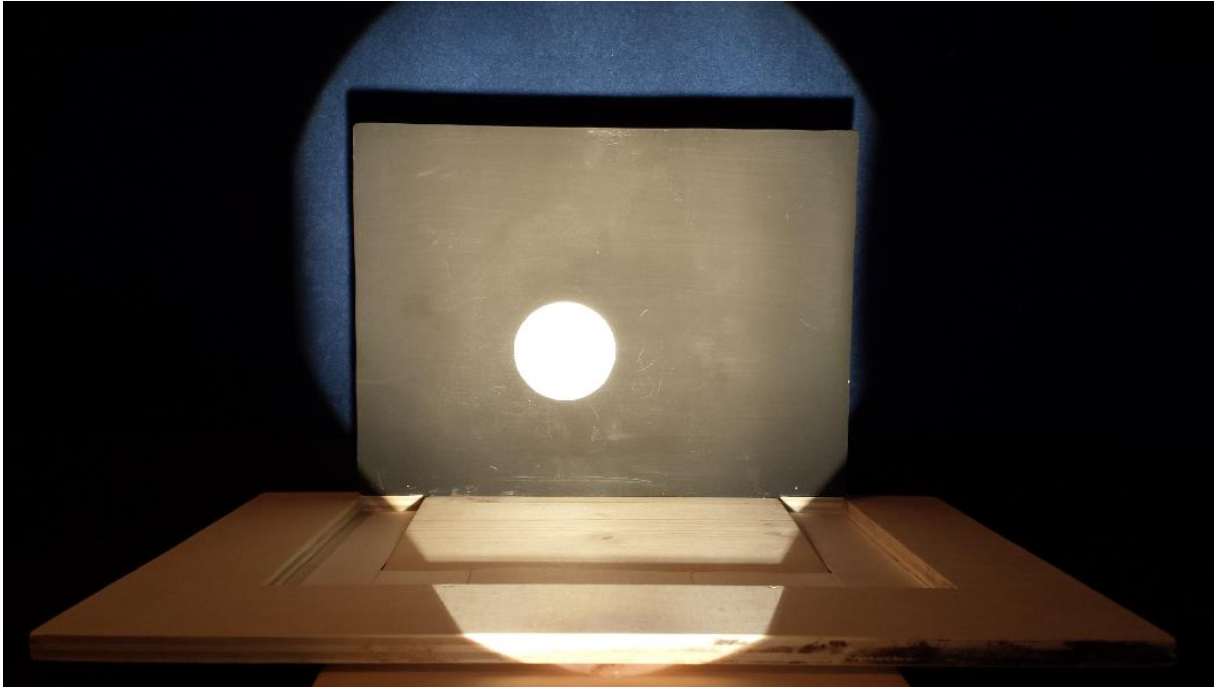


Abbildung 37: Original: Sicht des Betrachters ohne Dia



Abbildung 38: Original: Sicht des Betrachters mit Dia



Abbildung 39: Original: Sicht des Betrachters mit weißem Hintergrund

4.3 ERKLÄRUNG

Alan ging in diesen Phänomenen unter Absatz 4.1 „Eine „reverspective“ Pyramide“ und in dem Phänomen unter 4.2 „Dia-Projektor“ (Aus Schwarz mach Weiß) auf den von Adh mar Gelb (1887 - 1936) in einem Experiment erwiesenen Gelb-Effekt ein. Dieses Experiment zeigte, dass schwarze Kohle durchaus als weiß, oder zumindest als grau bzw. hellgrau wahrgenommen werden kann. Den Gelb-Effekt bearbeitete Alan Gilchrist vor allem in seinem Buch „Seeing Black & White“ (2006) und auch schon einige seiner früheren Werke beschäftigten sich damit ^[10].

In der optischen Täuschung aus dem Absatz 4.1, die er in der Ausstellung „IllusoriaMente“ in Alghero ausstellte, meint man, von vorne betrachtet, in einen Flur zu schauen und diesen räumlich zu sehen, obwohl es eine stumpfe, abgeschnittene Pyramide ist, die nach vorne heraus läuft und eben nicht nach innen gewölbt ist. Aber Alan Gilchrist wollte hier nicht auf die Tiefenwahrnehmung eingehen, sondern auf die Helligkeitst uschung. Die von Mark Hughes genannte „reverspective“ Technik wird hier nur dazu verwendet, um die Decke des Bildes ganz einfach von oben beleuchten zu können. Wenn diese beleuchtet wird, wird aus dem schwarzen Karton, aus dem die Decke besteht, eine hellgraue, fast weiße Decke. Die

weißen Papierstreifen werden dann zu vermeintlichen Deckenleuchten, denn sie scheinen zu leuchten. Es ist nahezu die Umkehrung des Eingangssatzes auf Seite 2 von Ewald Hering, dass die schwarze Kohle unter geeigneten Beleuchtungsbedingungen als weiß, oder zumindest als grau, empfunden werden kann, was eben genau den Gelb-Effekt beschreibt. ^[10]

So ähnlich verhält es sich bei dem Phänomen „Dia-Projektor“ (Aus Schwarz mach Weiß) aus Absatz 4.2. Die schwarze Fläche (mit einem weißen Punkt in der Mitte) wird mit einem Dia-Projektor aus kurzer Distanz hell beleuchtet (Abbildung 37). Der Dia-Projektor projiziert nun zusätzlich noch ein Dia mit einem kleinen schwarzen Rechteck zur Hälfte auf diesen weißen Punkt (Abbildung 38). Die schwarze Fläche scheint nun fast weiß zu sein. Klappt man als nächstes den weißen Hintergrund nach oben, so dass dieser auch beleuchtet wird, wird aus der hellgrauen wieder eine schwarze Fläche, was sie eigentlich auch ist (Abbildung 39).

Genau dies beschreibt den Gelb-Effekt, dass eine schwarze Fläche unter passenden und geeigneten Beleuchtungsverhältnissen als weiß, oder zumindest als hellgrau bzw. grau empfunden werden kann.

Diese verschiedenen Helligkeiten aus den beiden Phänomenen werden in dem folgenden Absatz 4.4 als physikalische Leuchtdichten gemessen und beurteilt. Leuchtdichten können in einem weiten Bereich von neun bis zehn Zehnerpotenzen von unserem visuellen System wahrgenommen werden ^[18]. Ein so großer Leuchtdichtenumfang kommt aber in einer natürlichen Umgebung nicht vor. In der Natur umfasst dieser für gewöhnlich zu einem bestimmten Zeitpunkt nur zwei bis drei Zehnerpotenzen, ist also viel geringer. Darauf ist aber das visuelle System optimal angepasst. Die mittlere Umfeldleuchtdichte ist dabei die beste Unterschiedsempfindlichkeit für Leuchtdichten. Der tatsächliche subjektiv empfundene Unterschied in den Helligkeiten im Laufe eines Tages ist eher gering, da man auf den jeweiligen, gerade aktuellen Leuchtdichtebereich adaptiert. Daher merken wir nicht, wie deutlich sich die Leuchtdichten bei Sonnenaufgang bzw. Abenddämmerung ändern können. Die Leuchtdichtenverhältnisse verschiedener Objekte allerdings bleiben nahezu gleich und für unsere Wahrnehmung ändert sich nichts, da für unser visuelles System die Kontraste zwischen den Objekten eben viel wichtiger sind, als absolute Leuchtdichten. Kontraste können wir also gut einschätzen, da sie nahezu gleich bleiben. Im Gegensatz dazu können wir die absoluten Leuchtdichten schlecht bestimmen, was nicht so wichtig ist, da sich diese sowieso ständig ändern. Wir nehmen also Objekte im Umfeld, deren Leuchtdichten ein bis zwei Zehnerpotenzen unterhalb der Adaptionsleuchtdichte liegen, als „schwarz“ war, sehr viel hellere Objekte werden eben „weiß“ gesehen. ^[10]

4.4 MESSUNGEN

„Reverspective“ Pyramide:

Bei diesem Phänomen gibt es zwei Testanordnungen. Die erste Testanordnung ist, wenn die Decke (mit dem weißen Streifen) der stumpfen, abgeschnittenen Pyramide aus Abbildung 34 nicht beleuchtet wird, und die zweite Testanordnung ist, wenn die Decke und der weiße Streifen beleuchtet werden. Die Probanden haben hier insgesamt vier Felder zu beurteilen, eben je einmal die schwarze Decke und den weißen Streifen unbeleuchtet, zum anderen die schwarze Decke und den weißen Streifen beleuchtet. Hier mussten die Probanden nur die Reihenfolge ihrer wahrgenommenen Helligkeiten angeben, von „dunkel“ nach „hell“, also die Felder 1 bis 4 der Reihe nach ihrer Helligkeit anordnen. Hier wurde mit einem „CS-1000 A Spectroradiometer“ der Firma Konica Minolta gemessen. Die Messung und die Testdurchführung wurden bei Tageslichtbedingungen durchgeführt. (Einheit: Candela pro Quadratmeter: cd/m^2).

Die objektiven Messwerte ergeben dies:

Schwarze Decke unbeleuchtet (Feld 1):	$0,3 \text{ cd/m}^2$
Weißer Streifen unbeleuchtet (Feld 2):	6 cd/m^2
Schwarze Decke beleuchtet (Feld 3):	12 cd/m^2
Weißer Streifen beleuchtet (Feld 4):	407 cd/m^2

Somit ergibt sich folgende Reihenfolge der Helligkeit nach: Feld 1 < Feld 2 < Feld 3 < Feld 4

Ergebnisse: Hier sollen die Ergebnisse nur kurz zusammengefasst werden:

Alle Probanden haben die Reihenfolge ihrer wahrgenommenen Helligkeiten der Felder 1 bis 4 gleich angegeben, also jeder Proband hat Feld 1 am dunkelsten bewertet, dann Feld 2, Feld 3 und zum Schluss Feld 4 am hellsten. Die objektiven Messwerte und die subjektive Einschätzung der Probanden stimmen also zu 100 % überein. Folglich wird Feld 3, die beleuchtete schwarze Decke auch heller gesehen, wie Feld 2, der weiße unbeleuchtete Streifen. Somit zeigt sich hier wieder der Gelb-Effekt, dass man eine schwarze Fläche durch eine helle Beleuchtung auch als fast weiß bzw. eben hellgrau erscheinen lassen kann und somit zumindest heller, als eine weiße unbeleuchtete Fläche.

Diaprojektor (Aus Schwarz mach Weiß):

Bei diesem Phänomen gibt es drei verschiedene Testanordnungen, welche die Probanden betrachten und die Farbe bzw. die Helligkeit der in die Felder 1 bis 6 aufgeteilten Bereiche bewerten müssen. Die Testanordnung I (Abbildung 40) besteht aus der ohne Dia beleuchteten schwarzen Fläche (als Feld 1 gekennzeichnet) mit dem weißen Punkt in der Mitte (Feld 2). Bei Testanordnung II (Abbildung 41) kommen zusätzlich die Felder 3 und 4 hinzu, welche durch Beleuchtung mit dem Dia, welches ein schwarzes Rechteck projiziert, entstehen. Feld 3 ist die Schnittfläche von dem schwarzem Rechteck und Feld 2, Feld 4 ist die Schnittfläche von dem schwarzem Rechteck und Feld 1. In der Testanordnung III (Abbildung 42) kommen schließlich, durch hochklappen des dann zum Teil beleuchteten weißen Hintergrundes, die Felder 5 (Hintergrund beleuchtet) und 6 (Hintergrund nicht beleuchtet) dazu.

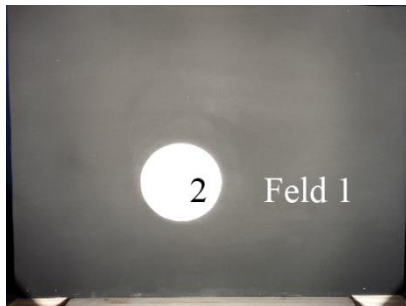


Abbildung 40:
Testanordnung I

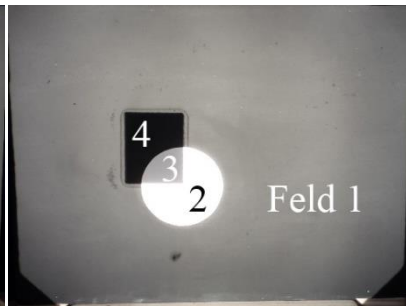


Abbildung 41:
Testanordnung II

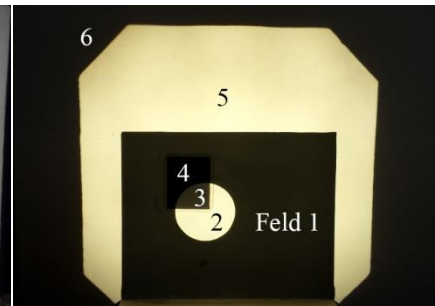


Abbildung 42:
Testanordnung III

Zur Beurteilung dieser Felder unter Tageslichtbedingungen bekommen die Probanden einen Testbogen (Abbildung 43), bei dem sie auf einem 25 cm langen schwarzen Balken, der mit „Schwarz“ (Anfang) und „Weiß“ (Ende) beschriftet ist, ihre Empfindungen der Helligkeit der einzelnen Felder eintragen und diese kennzeichnen sollen. Die Testanordnungen werden nacheinander gezeigt und die Probanden müssen jede Testanordnung in einen neuen Testbalken eintragen, so dass sie die Testbalken der vorherigen Testanordnungen nicht sehen können und somit nicht durch diese beeinflusst werden. Die wahren, physikalischen Leuchtdichten der Felder 1 bis 6, welche wieder mit einem „CS-1000 A Spectroradiometer“ der Firma Konica Minolta bei Tageslichtbedingungen gemessen wurden, sind in Abbildung 44 zu sehen. Die Einheit hierbei ist jeweils Candela pro Quadratmeter (cd/m^2). Je größer die Zahl, umso heller bzw. auch weißer ist also ein Feld physikalisch. Die Rangfolge der Helligkeit der Felder ist somit folgende: Feld 2 > Feld 5 > Feld 3 > Feld 1 > Feld 6 > Feld 4

Name:

Testanordnung: I



Testanordnung: II



Testanordnung: III



Abbildung 43: Testbogen (Beispiel)

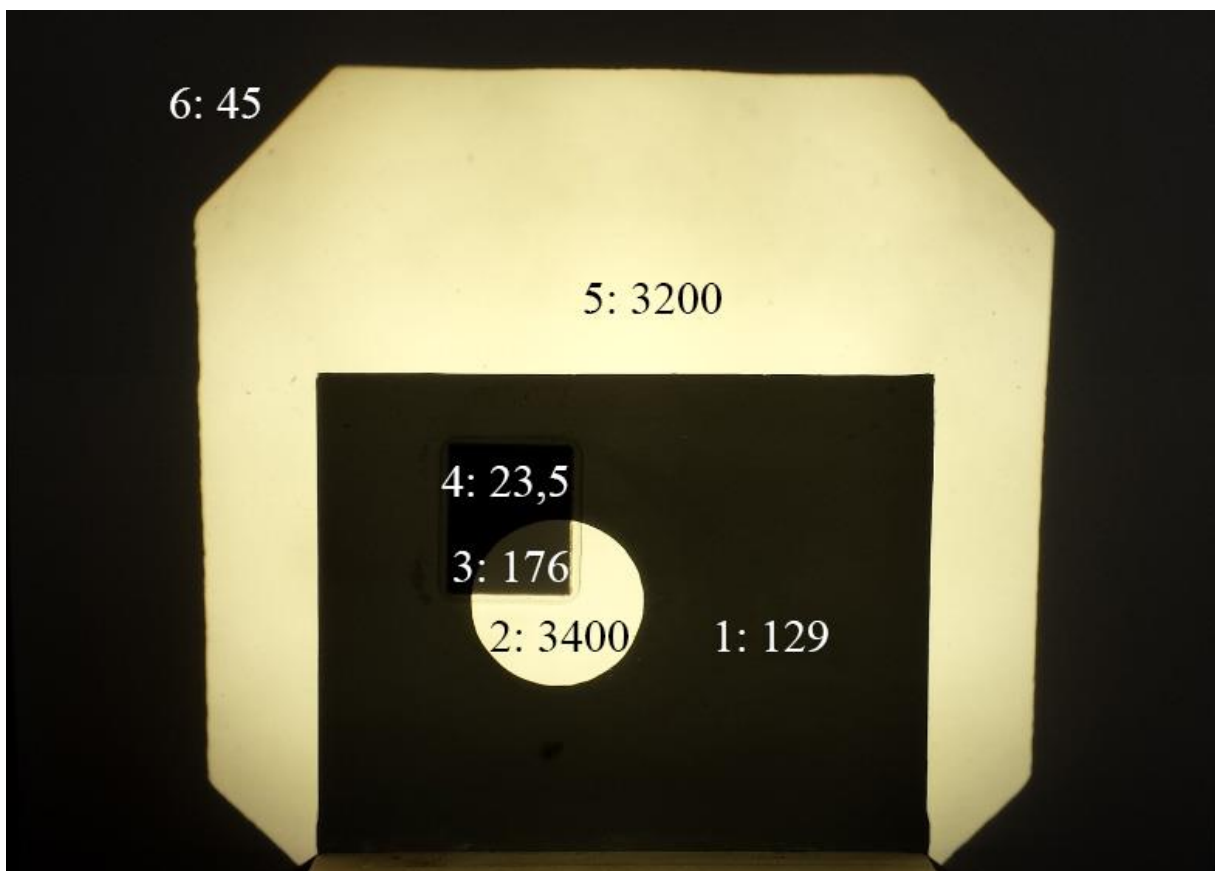


Abbildung 44: Gemessene Leuchtdichten in cd/m^2 in den jeweiligen Feldern 1 bis 6

Ergebnisse:

Nachdem alle zehn Probanden ($N = 10$) ihren Testbogen ausgefüllt haben, werden diese ausgewertet. Zwei Beispiele von solchen fertig ausgefüllten Testbogen sind in den Abbildungen 45 und 46 zu sehen:

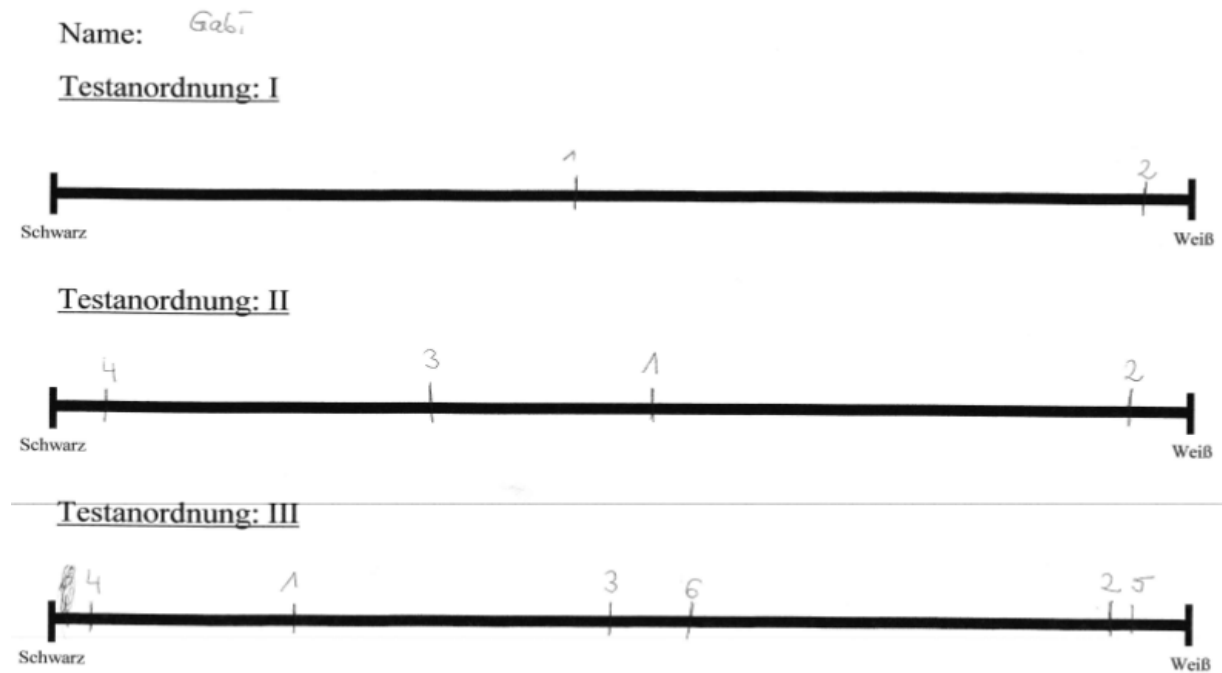


Abbildung 45: Testbogen Beispiel 1

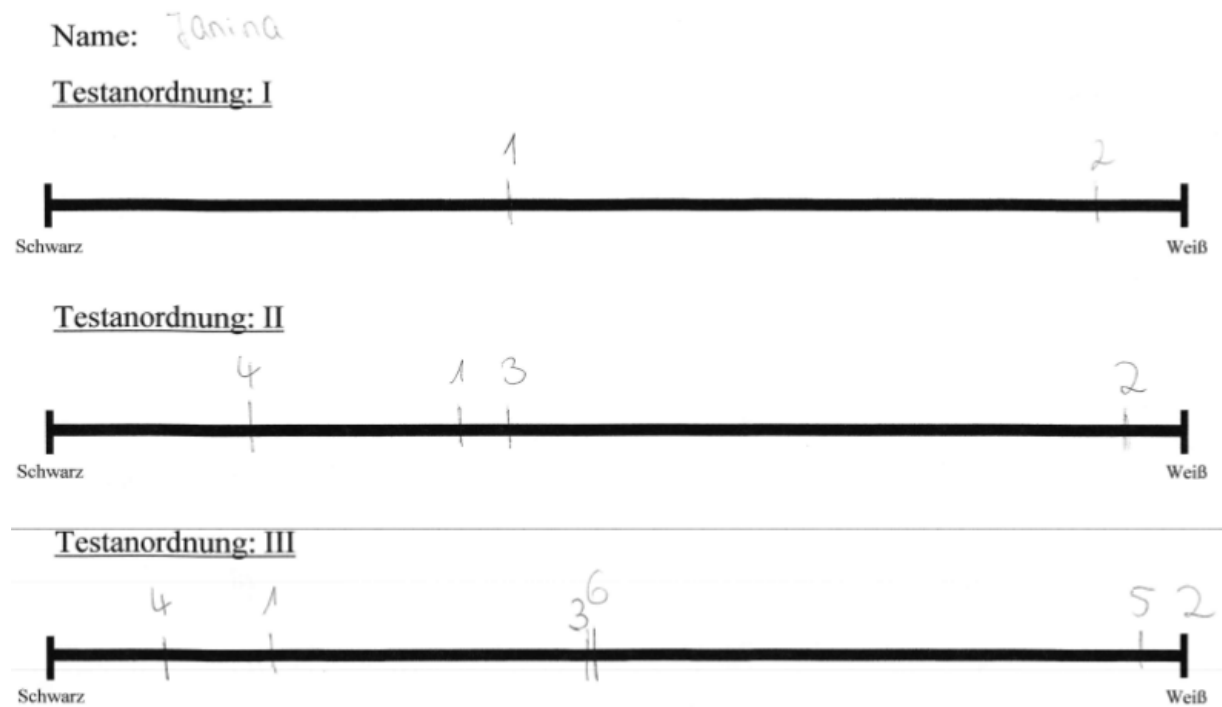


Abbildung 46: Testbogen Beispiel 2

Da die subjektiven Bewertungen auf einem 25 cm langen Balken, der von 0 cm („Schwarz“) bis 25 cm („Weiß“) geht, eingetragen und danach die Entfernungen vom Nullpunkt gemessen wurden, werden diese Längen mit der Formel „x cm * 4 / 10“ umgerechnet, um Werte und folglich eine Skala von 0 bis 10 zu erhalten.

Testanordnung I:

Testanordnung I ist der Versuch ohne Dia und ohne Hintergrund, bei dem es nur zwei Felder, folglich nur zwei Bedingungen, zu bewerten gibt, nämlich Feld 1 (dunkel: 129 cd / m²) und Feld 2 (hell: 3400 cd / m²). Die umgerechneten subjektiven Bewertungen und die gemessenen Leuchtdichten wurden in einer Tabelle aufgetragen und sind in folgendem Diagramm dargestellt. Dabei ist zu sehen, dass das eigentlich schwarze Feld 1 als nicht ganz „schwarz“ bewertet wird. Das weiße Feld 2 wird hingegen ganz eindeutig auch als ein weißes bzw. helles Feld gesehen und bewertet.

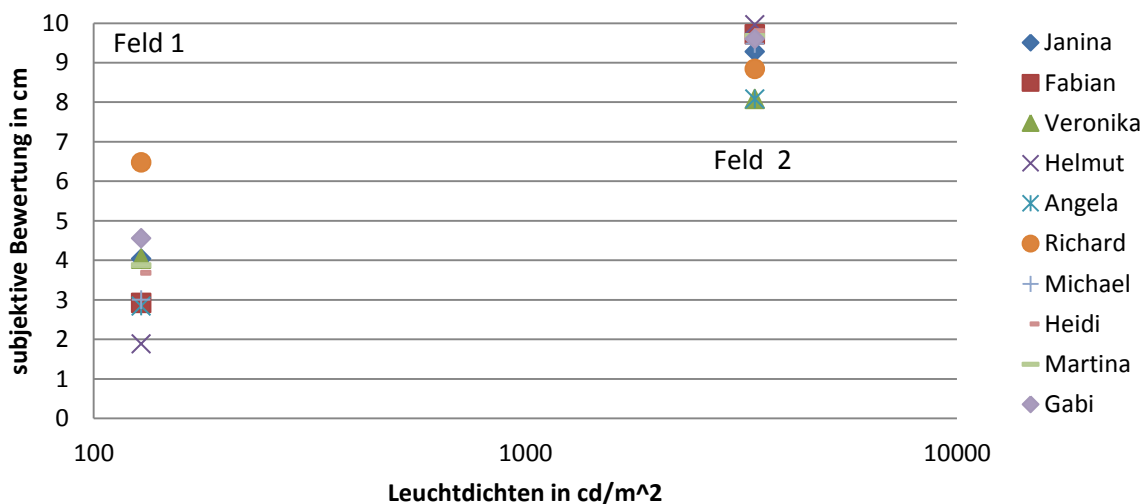


Abbildung 47: Testanordnung I: subjektive Bewertungen zu Leuchtdichten

Wie man im Diagramm sehen und ablesen kann, ist bei Feld 1 die Streuung bzw. die Spanne zwischen dem größten Wert (6,48 cm) und dem kleinsten Wert (1,88 cm) größer wie bei Feld 2. Die Differenz liegt bei 4,6 cm. Die Differenz bei Feld 2 zwischen dem größten Wert (9,96 cm) und dem geringstem Wert (8,08 cm) beträgt nur 1,88 cm. Dies lässt sich auch von der fast doppelt so großen Standardabweichung von Feld 1 (Mittelwert: 3,73 cm) zu Feld 2 (Mittelwert: 9,25 cm), wie im nächsten Diagramm gezeigt wird, ablesen. Feld 2 wird also einheitlicher als weiß bzw. hell bewertet, wie Feld 1 als schwarz bzw. eben fast „grau“ (ein deutlicher Ausreißer).

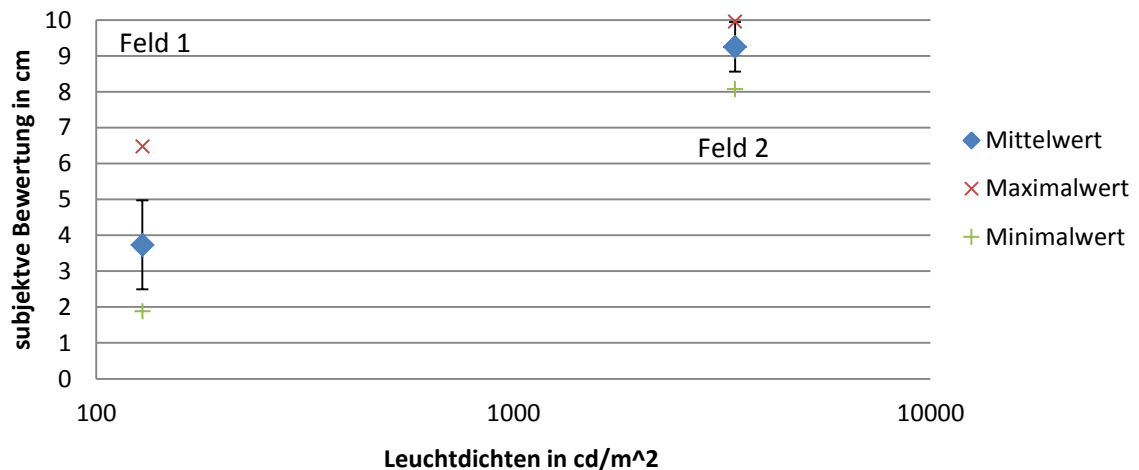


Abbildung 48: Testanordnung I: Mittelwerte, Standardabweichungen und Extremwerte

Testanordnung II:

Testanordnung II ist der Versuch mit Dia, aber noch ohne Hintergrund. Es gibt hier vier Felder zu bewerten, nämlich ein sehr helles Feld 2 (H: $3400 \text{ cd} / \text{m}^2$), ein sehr dunkles Feld 4 (D: $23,5 \text{ cd} / \text{m}^2$) und zwei Felder dazwischen, Feld 1 (W1: $129 \text{ cd} / \text{m}^2$) und Feld 3 (W2: $176 \text{ cd} / \text{m}^2$). Die Werte werden auch hier wieder in einer Tabelle aufgelistet und werden in folgenden Diagrammen gezeigt.

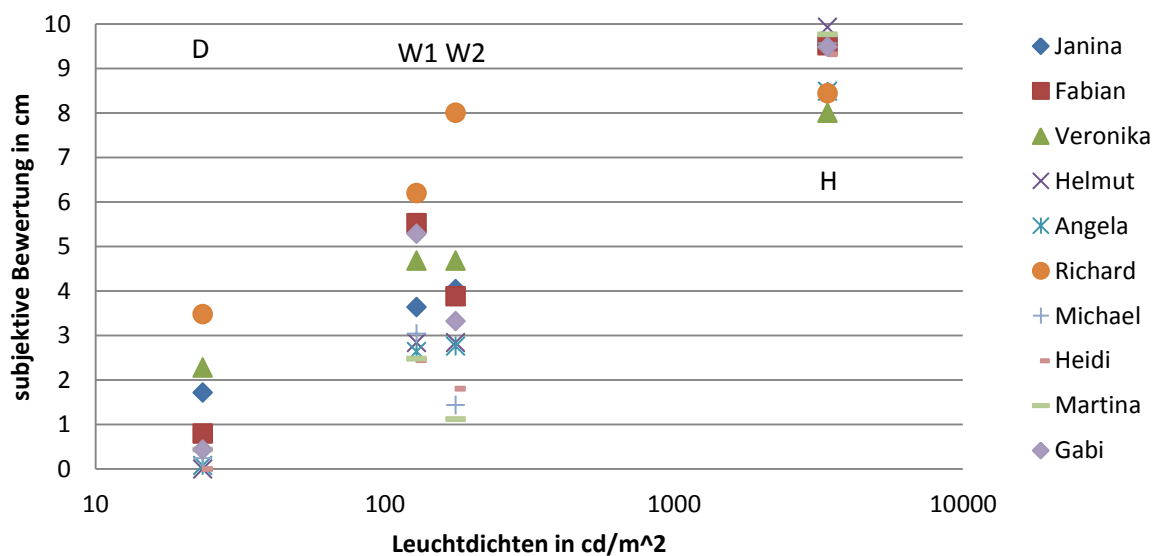


Abbildung 49: Testanordnung II: subjektive Bewertungen zu Leuchtdichten

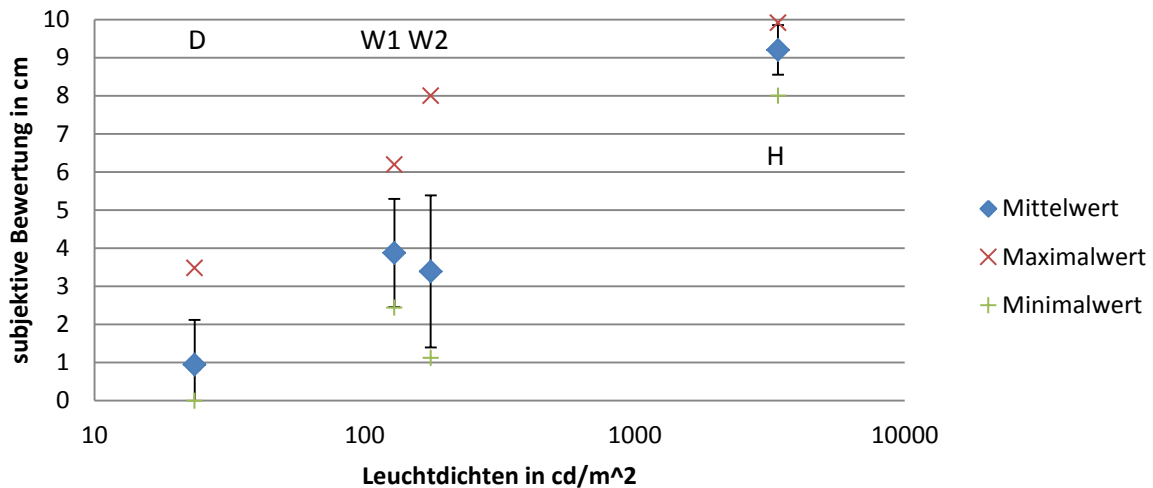


Abbildung 50: Testanordnung II: Mittelwerte, Standardabweichungen und Extremwerte

Auch in der Testanordnung II erhält man beim hellen Feld 2 (Mittelwert: 9,2 cm) eindeutig die gleichwertigste Bewertung, mit einem größten Wert 9,92 cm, einem kleinsten Wert 8 cm und einer Differenz von nur 1,92 cm. Auch dessen Standardabweichung ist die geringste. Dann folgt das dunkle Feld 4 (Mittelwert: 0,95 cm) mit einer Differenz von 3,48 cm (größter Wert: 3,48 cm; kleinster Wert: 0 cm) und der zweitkleinsten Standardabweichung. Die Felder dazwischen, Feld 1 (Differenz: 3,76 cm; größter Wert: 6,2 cm; kleinster Wert: 2,44 cm; Mittelwert: 3,88 cm) und Feld 3 (Differenz: 6,88 cm; größter Wert: 8 cm; kleinster Wert: 1,12 cm; Mittelwert: 3,39 cm) haben die zweitgrößte (Feld1) und größte (Feld3) Standardabweichung und streuen am meisten, wobei bei Feld 3 (W2) ein ziemliche weiter Ausreißer vorhanden ist. Bei Feld 3 sind so starke Streuungen drin, dass kaum statistische Aussagen möglich sind. Im Mittel wird das in Wirklichkeit etwas dunklere Feld 1 (W1) heller bewertet, als Feld 3 (W2).

Zusätzlich kommt nun eine subjektive Skalierung der Helligkeiten hinzu, die hier getestet wird. Die Probanden haben je vier Bewertungen abgegeben, eine für das ganz helle Feld 2 (H) und eine für das ganz dunkle Feld 4 (D) und für die Felder 1 und 3 dazwischen. Um die verschiedenen Probanden miteinander zu vergleichen, bezieht man die Werte der Felder dazwischen, also von Feld1 (W1) und Feld 3 (W2) auf die Spanne H bis D. Es werden dann die Relativbewertungen R1 und R2 zu H und D in % mit der Formel „ $R_x = 100 * (W_x - D) / (H - D)$ “ berechnet. Die Ergebnisse dazu sind in den folgenden Diagrammen eingetragen. In diesem (Abbildung 51) entspricht dann D dem Relativwert 0 und H dem Relativwert 100.

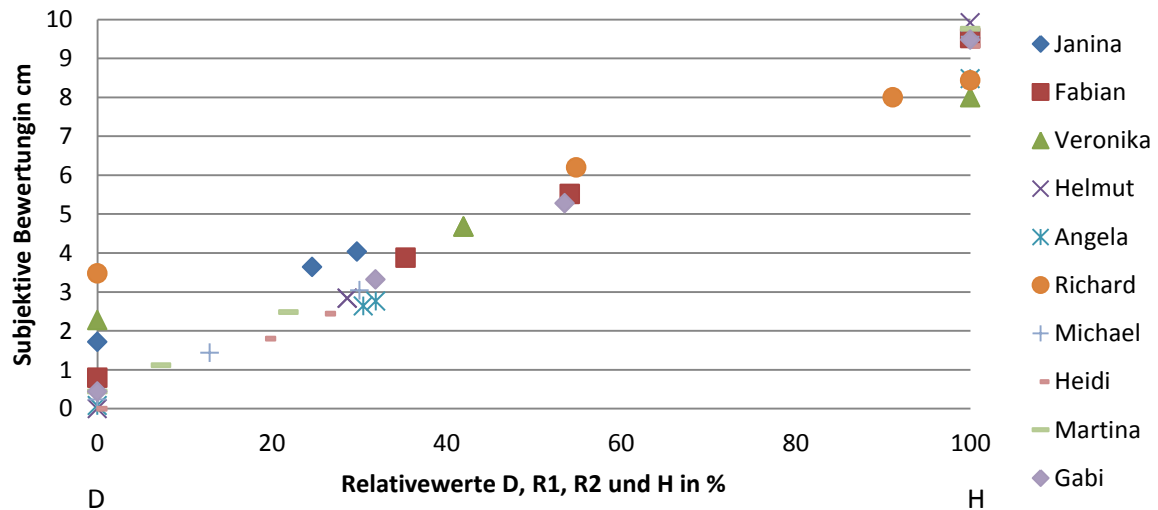


Abbildung 51: Testanordnung II: subjektive Bewertungen zu Relativwerten

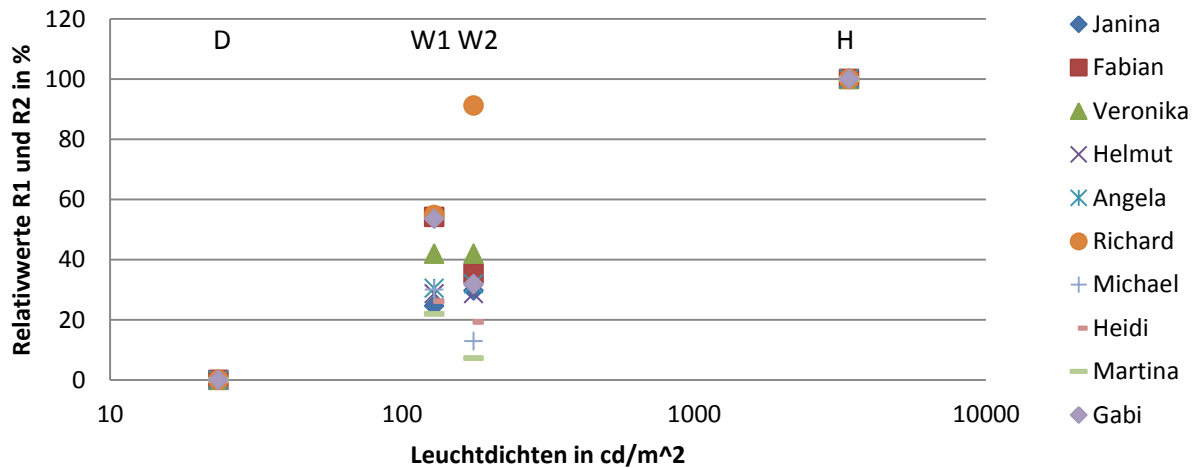


Abbildung 52: Testanordnung II: Relativwerte zu Leuchtdichten

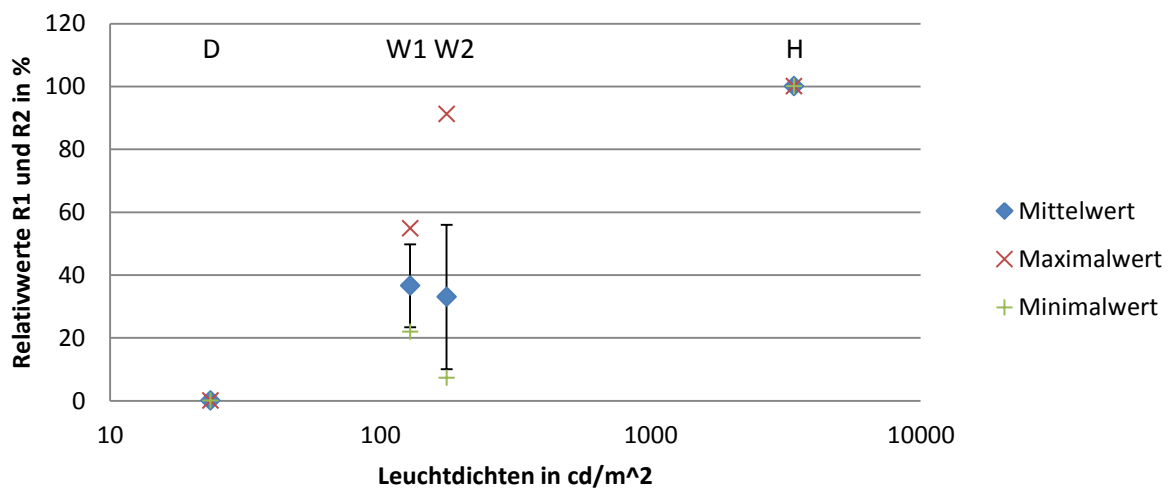


Abbildung 53: Testanordnung II: Mittelwerte, Standardabweichungen, Extremwerte

Man sieht, dass die Probanden jeweils keine statistisch gleichen Zwischenwerte für R1 (W1) und R2 (W2) einstellen. Bei den R1-Werten beträgt der größte Wert 54,84 %, der kleinste 24,62 %, die Differenz von beiden 30,22 %. Die Standardabweichung ist zu hoch. Bei den R2-Werten beträgt der größte Wert 91,13 %, der kleinste 7,30 %, die Differenz 80,83 %. Hier ist die Standardabweichung ebenfalls viel zu hoch. Man kann in den Diagrammen eine recht große Streuung feststellen. Bei den Relativwerten R2 ist allerdings wieder ein starker Ausreißer dabei. Was man aus den Diagrammen für die Relativwerte noch ableiten kann, ist, dass hier im Mittel R2 (33 %) kleiner ist, als R1 (36,63 %). Dies bedeutet wiederum, dass die Probanden im Mittel, bezogen auf ihre Spanne von H bis D (dunkles Feld 4 bis helles Feld 2), das in Wirklichkeit hellere Feld 3 dunkler bewerten, als Feld 1. Wenn man die Abhängigkeit der subjektiven Bewertungen von den Leuchtdichten mit der Abhängigkeit der Relativwerte von den Leuchtdichten vergleicht, erhält man ein nahezu identisches Bild, was die Mittelwerte, die Streuung bzw. Standardabweichungen und die Extremwerte (Maximalwert und Minimalwert) der Felder 1 und 3 betrifft.

Testanordnung III:

Bei der Testanordnung III kommen zusätzlich zu den vier Bewertungen aus Testanordnung II die Bewertung des hellen und des dunklen Randes durch Hochklappen des Hintergrundes hinzu. Es gibt hier also sechs Felder zu bewerten. Wieder das sehr dunkle Feld 4 (D), das sehr helle Feld 2 (H), die zwei Zwischenfelder, Feld 1 (W1) und Feld 3 (W2) und die zwei neuen Felder auf dem Hintergrund, ein helles Feld 5 (W3: 3200 cd / m²) und ein dunkles Feld 6 (W4: 45 cd / m²). Die Werte werden wiederum in folgenden Diagrammen veranschaulicht.

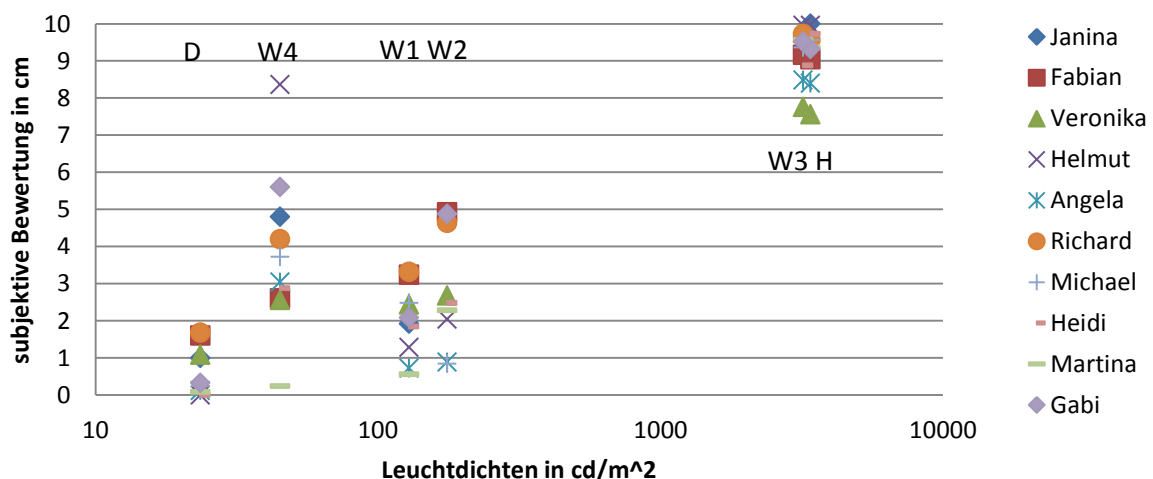


Abbildung 54: Testanordnung III: subjektive Bewertungen zu Leuchtdichten

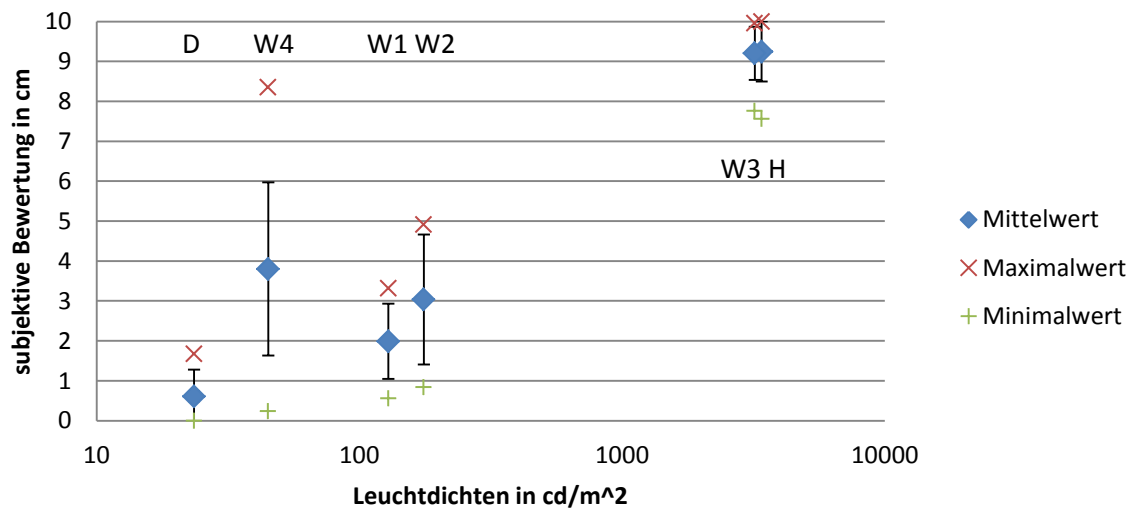


Abbildung 55: Testanordnung III: Mittelwerte, Standardabweichungen und Extremwerte

In Testanordnung III ist diesmal Feld 4 (D) das am gleichwertigsten bewertete Feld. Dessen größter Wert beträgt 1,68 cm, der kleinste Wert 0 cm, die Differenz aus beiden somit 1,68 cm und der Mittelwert 0,61 cm. Hier ist auch die Standardabweichung am geringsten. Fast gleichwertig bewertet sind Feld 5 (W3) (Differenz: 2,2 cm; größter Wert: 9,96 cm; kleinster Wert: 7,76 cm; Mittelwert: 9,20 cm; zweitkleinste Standardabweichung) und Feld 2 (H) (Differenz: 2,44 cm; größter Wert: 10 cm; kleinster Wert: 7,56 cm; 9,25 cm; drittkleinste Standardabweichung). Feld 1 (W1) (Differenz: 2,68 cm; größter Wert: 3,24 cm; kleinster Wert: 0,56 cm; Mittelwert: 1,99 cm) hat jetzt eine geringere Standardabweichung im Vergleich zu Testanordnung II, die Werte streuen also nicht mehr so stark. Feld 3 (W2) (Differenz: 4,08 cm; größter Wert: 4,92 cm; kleinster Wert: 0,84 cm; Mittelwert: 3,04 cm) hat jetzt ebenfalls eine leicht geringere Standardabweichung, wie noch bei Testanordnung II. Bei Feld 6 (W4) (Differenz: 8,12 cm; größter Wert: 8,36 cm; kleinster Wert: 0,24 cm; Mittelwert: 3,80 cm) streuen die Werte schon ein bisschen mehr, was man auch an einer etwas größeren Standardabweichung erkennt. Im Mittel wird Feld 6 (W4) deutlich zu hell bewertet und hat nichts mit den realen Leuchtdichten zu tun. Feld 1 (W1) wird jetzt im Vergleich zu Feld 3 (W2) im Mittel wieder dunkler bewertet, was es in Wirklichkeit auch ist, im Gegensatz zu Testanordnung II.

Auch bei Testanordnung III kommt wieder die subjektive Skalierung der Helligkeiten hinzu. Es werden auch hier die Relativbewertungen R1 und R2 (R3, R4) zu H und D in % mit der Formel „ $R_x = 100 * (W_x - D) / (H - D)$ “ berechnet. In dem Diagramm entspricht D wieder dem Relativwert 0 und H wieder dem Relativwert 100.

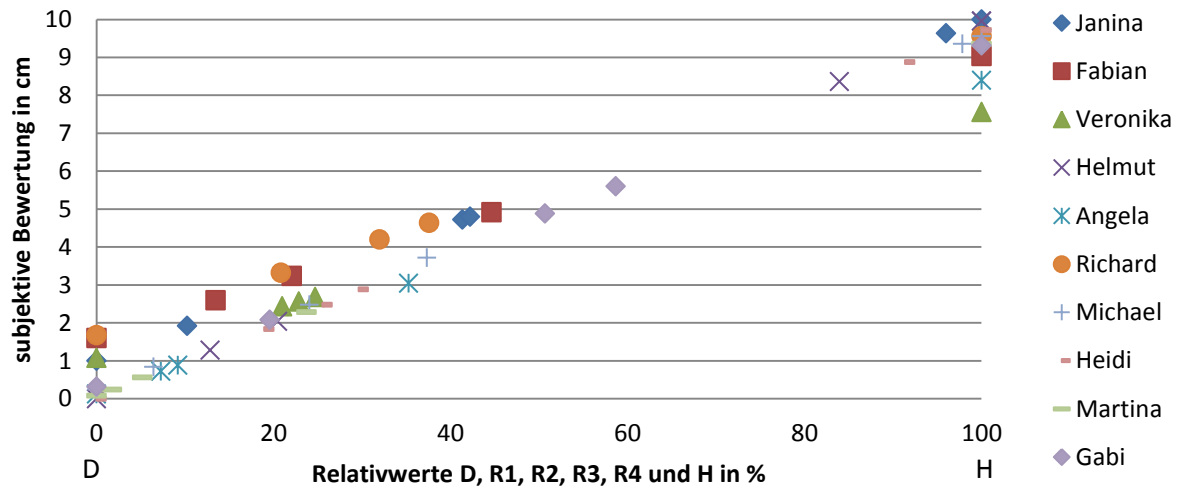


Abbildung 56: Testanordnung III: subjektive Bewertungen zu Relativwerten

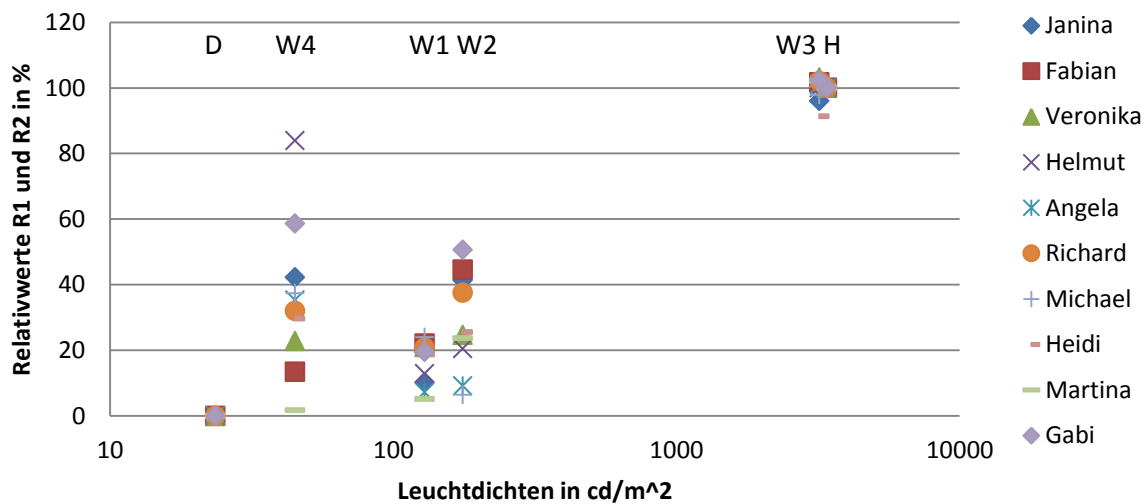


Abbildung 57: Testanordnung III: Relativwerte zu Leuchtdichten

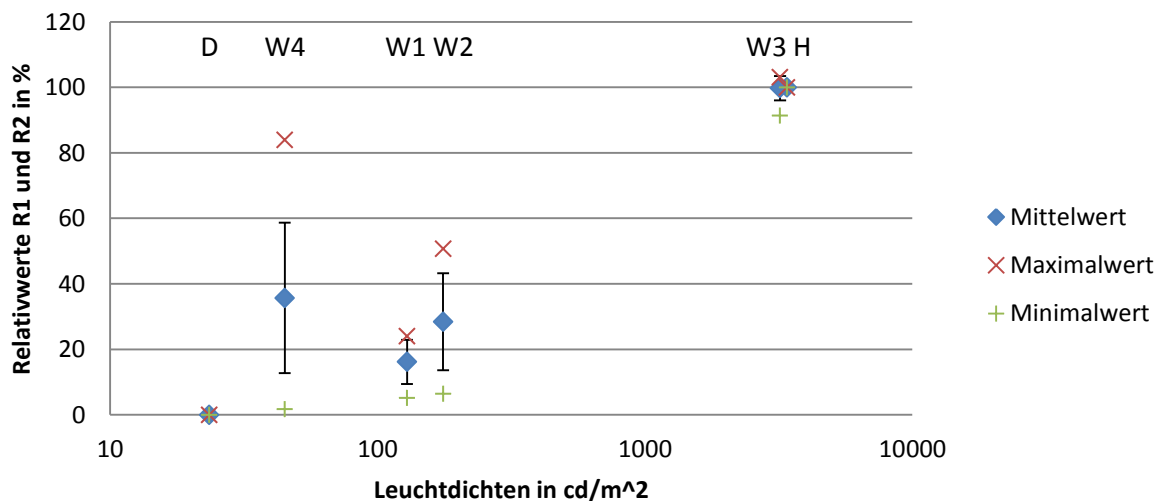


Abbildung 58: Testanordnung III: Mittelwerte, Standardabweichungen und Extremwerte

Man sieht wiederum, dass die Probanden jeweils keine statistisch gleichen Zwischenwerte für R1 und R2 einstellen. Bei den R1-Werten beträgt der größte Wert 24,03 %, der kleinste 5,17 %, die Differenz von beiden 18,86 % und der Mittelwert 16,19 %. Die Standardabweichung ist noch zu hoch, aber deutlich kleiner wie bei Testanordnung II. Bei den R2-Werten beträgt der größte Wert 50,67 %, der kleinste 6,44 %, die Differenz 44,23 % und der Mittelwert 28,42 %. Hier ist die Standardabweichung ebenfalls noch zu hoch, aber ein bisschen kleiner wie bei Testanordnung II. Bei den R3-Werten beträgt der größte Wert 103,09 % (einzelne Werte von R3 sind größer als die von H), der kleinste 91,36 %, die Differenz von beiden 11,73 % und der Mittelwert 99,73 %. Feld 5 wird also in Bezug auf die Spanne von D bis H fast genau so hell bewertet, wie Feld 2, aber eben im Mittel ein ganz kleines bisschen dunkler, so wie es in Wirklichkeit auch ist. Die Standardabweichung ist hier die geringste. Bei den R4-Werten beträgt der größte Wert 83,94 %, der kleinste 1,72 %, die Differenz von beiden 82,21 % und der Mittelwert 35,70 %. Hier ist die Standardabweichung am größten.

Man kann in den Diagrammen eine zum Teil große bis recht große Streuung feststellen. Im Allgemeinen ist bei Testanordnung III zu sagen, dass jetzt fast alle Felder (bis auf das äußere Feld 6), auch in Bezug auf die Spanne von D bis H, jeweils in der richtigen Reihenfolge ihrer subjektiven Helligkeitsbewertung angeordnet werden, bezogen auf ihre wahren Helligkeiten, also den objektiven Messwerten. Feld 6 (unbeleuchteter, hochgeklappter Hintergrund) wird allgemein, wie auch auf die H-D-Spanne bezogen zu hell bewertet. Dies könnte an den vielleicht nicht immer konstant gleichen und vielleicht zum Teil zu hellen Lichtverhältnissen im Messzimmer liegen, die sich auf dieses Feld am stärksten bemerkbar machten und die subjektive Bewertung dieses Feldes am stärksten beeinflussten.

Die anderen Felder werden im Mittel alle richtig angeordnet, was bei Testanordnung II noch nicht der Fall war. Man kann also sagen, durch das Hochklappen des Hintergrundes, also durch die zusätzlichen Felder 5 und 6 werden die inneren Felder, vor allem Feld 1, und deren Werte stark beeinflusst. Was auch schon auf den ausgefüllten Testbogen zu beobachten war, zeigt sich auch in den folgenden Diagrammen sehr deutlich:

Das eigentlich schwarze Feld 1, das durch das beleuchten mit dem Diaprojektor mehr in Richtung weiß bzw. hell bewertet wurde, wird nach dem hochklappen des zum Teil beleuchteten Hintergrunds, wieder schwärzer bewertet. Auf den Testbogen wanderten die Striche für Feld 1 bei der Testanordnung III wieder deutlich nach links in Richtung „Schwarz“, wie man auch in den beiden Abbildung 45 und 46 sehen kann.

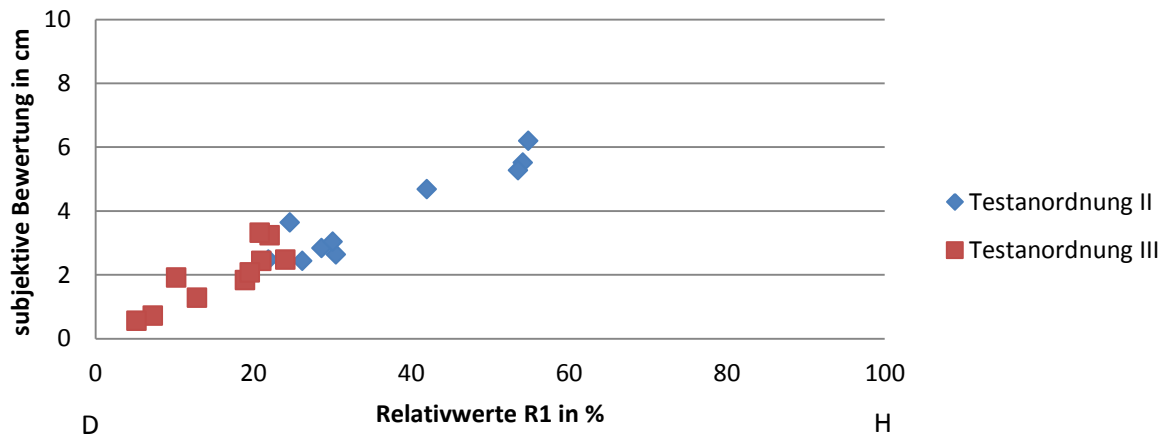


Abbildung 59: Vergleich der Relativwerte R1 (Feld 1) von Testanordnung II und III

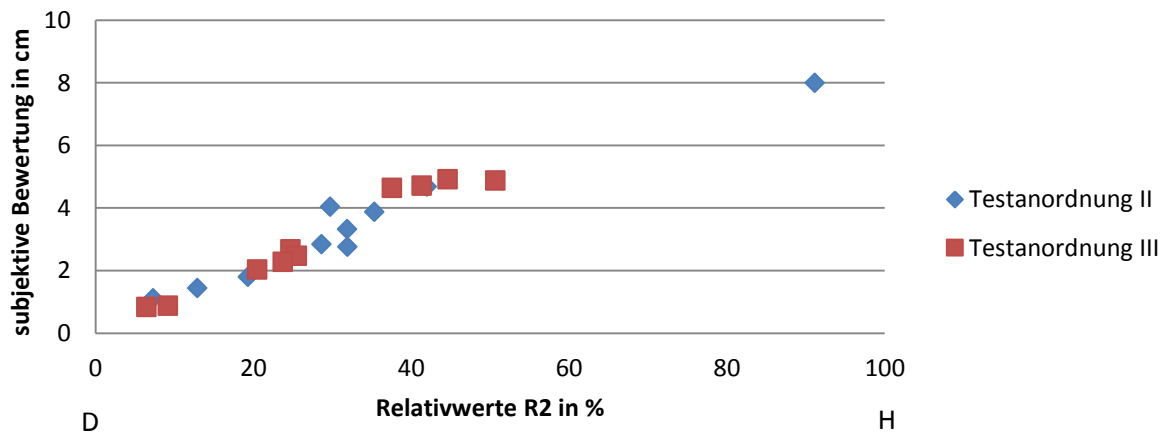


Abbildung 60: Vergleich der Relativwerte R2 (Feld 3) von Testanordnung II und III

Feld 3 wird im Mittel wieder leicht heller bewertet als in Testanordnung II, sowohl allgemein, als auch auf die H-D-Spanne bezogen. Somit wird auch Feld 3 vom Hochklappen des Hintergrundes beeinflusst, wenn auch nur ganz minimal. Bei Feld 3 sind also die Werte im Vergleich von Testanordnung II und II statistisch in etwa gleich zu sehen, bei Feld 1 sind die Werte eben statistisch stark unterschiedlich, was im durch den Student t-Test gezeigt wird:

<u>t-Test bei abhängigen Stichproben R1 bei II und III mit einem Signifikanzniveau von 5 %:</u>	
t-Statistik	6,23738584
P(T<=t) zweiseitig	0,00015191
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,26215716
<u>t-Test bei abhängigen Stichproben R1 bei II und III mit einem Signifikanzniveau von 0,1 %:</u>	
t-Statistik	6,23738584
P(T<=t) zweiseitig	0,00015191
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	4,78091259

In den beiden linksstehenden Tabellen sind die Berechnungen des Student t-Tests bei den R1-Werten (Feld 1) aus Testanordnung II und III zu sehen. Die gelb hinterlegten Zeilen sind die wichtigen Zeilen. Aus diesen Zeilen geht hervor, dass jeweils, also bei einem Signifikanzniveau von 5 % und

0,1 %, der t-Wert (t-Statistik) größer ist, wie der kritische t-Wert (bei zweiseitigem t-Test). Dies bedeutet, dass die R1-Werte aus den Testanordnungen II und III sich statistisch signifikant bzw. sogar höchst signifikant unterscheiden.

Bei den R2-Werten (Feld 3) ist bei einem Signifikanzniveau von 5 % der t-Wert (t-Statistik) kleiner wie der kritische t-Wert (bei zweiseitigem t-Test). Dies bedeutet hier, dass

<i>t-Test bei abhängigen Stichproben R2 bei II und III mit einem Signifikanzniveau von 5 %:</i>	
t-Statistik	0,65070293
P(T<=t) zweiseitig	0,53149726
Kritischer t-Wert bei zweiseitigem t-Test	2,26215716

sich die R2-Werte von Testanordnung II und Testanordnung III sich nicht signifikant unterscheiden. Wie oben schon geschrieben, sind diese Werte also statistisch gleich.

Bei diesen ganzen Ergebnissen sieht man einerseits zum Teil große Streuungen bei den Werten, dies bedeutet, dass wir die Welt sehr verschieden wahrnehmen. Andererseits sind aber auch trotzdem manche Ergebnisse signifikant, das heißt nahezu gleich, was wiederum bedeutet, dass hier alle Probanden also eine ähnliche Wahrnehmung haben.

4.5 FAZIT

Da bei den Testanordnungen II und III die gleichen inneren Felder und somit die gleichen Leuchtdichten bewertet werden, und die Werte von Feld 1 sich zum Teil stark verändern und unterscheiden, sind diese Werte statistisch nicht gleich. Dies bedeutet, dass die Wahrnehmung der Helligkeiten vom äußeren Feld beeinflusst wird, weil diese stark von den Kontrasten abhängt, da erst durch das Hochklappen des Hintergrundes zwischen Feld 1 (dunkel) und Feld 5 (hell) ein großer Kontrast entsteht. Zuerst wird Feld 1 durch das helle Beleuchten und ohne Kontrast heller gesehen (Gelb-Effekt), dann verschiebt sich durch Erzeugen eines großen Kontrastes wieder die Wahrnehmung hin zu „Schwarz“.

Zum Schluss kann man also sagen, dass die subjektiven Bewertungen natürlich auch von den Gegebenheiten im Messzimmer und den Versuchsbedingungen allgemein abhängen, denn es sind nicht zu jeder Zeit bei jedem Probanden die exakt gleichen Lichtverhältnisse vorhanden.

Aber die subjektiven Bewertungen stehen trotz alledem zum Teil in starkem Widerspruch zu den objektiven Leuchtdichten, was nicht nur an den Versuchsbedingungen liegen kann, sondern eben an einer „falschen Wahrnehmung“ bzw. einer Wahrnehmungstäuschung. Aber, die Tendenz zur "falschen Wahrnehmung" ist bei allen da, was man zum Beispiel in Testanordnung III bei Feld 6 sehen kann. Die großen Streuungen aber lassen ferner darauf schließen, dass von Person zu Person offenbar doch nicht alles gleich wahrgenommen wird.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Ein interessanter und faszinierender Aspekt in der Optik sind die optischen Täuschungen und optischen Phänomene. Diese lassen sich in zwei Bereiche gliedern. Zum einen in die meist nur monokular wahrnehmbaren, also die räumlichen Täuschungen und in die binokular wahrnehmbaren, geometrischen Täuschungen, die in grafischen, bildlichen Darstellungen vorliegen.

In dieser Arbeit wurde auf die Hell-Dunkel-Wahrnehmungstäuschungen (ein spezielles Beispiel von Aiyoshi Kitaoka ist nochmal in Abbildung 61 abgebildet) eingegangen, wobei auch die Geschichte dazu und ein paar Beispiele angesprochen wurden.

Die eigentliche Hauptaufgabe jedoch bestand im Bau und der Beschreibung zweier solcher Hell-Dunkel-Phänomene, samt Messungen, die bei Probanden durchgeführt wurden und den Auswertungen dazu (siehe Kapitel 4).

Die in dieser Arbeit gebauten und dokumentierten Täuschungen sind als Erweiterung einer Vielzahl an optischen Täuschungen gedacht, die in der bekannten Scheune von Herrn Prof. Lingelbach in Leinroden ausgestellt sind. Zusätzlich wird es diese in einer vielleicht leicht veränderten Version, das heißt mit anderen Materialien und Gerätschaften, auch im optischen Pfad des „WaldWipfelWeges“ in Sankt Englmar im Bayerischen Wald geben.

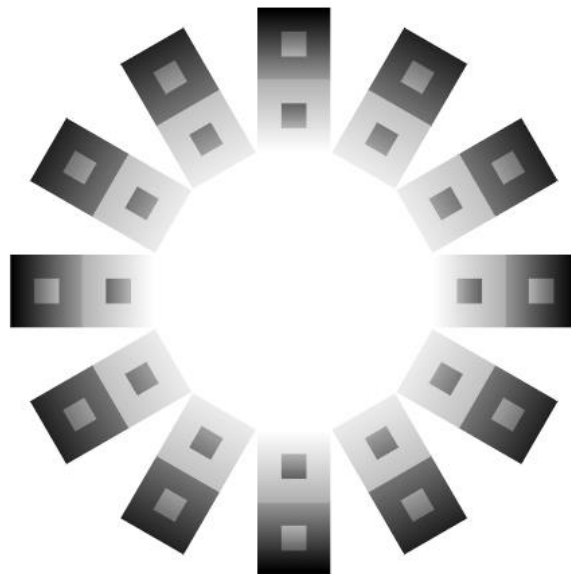


Abbildung 61 [Aiyoshi Kitaoka 2005 ^[17]]: "Ring of simultaneous brightness contrast"

6 ERKLÄRUNG DES ABSOLVENTEN (B.Sc.)

(gemäß § 27(1) SPO)

Absolvent: **Thomas Fischer**

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Bachelor-Thesis selbstständig verfasst und noch nicht anderweitig zu Prüfungszwecken vorgelegt habe.

Sämtliche benutzte Quellen und Hilfsmittel sind angegeben, wörtlich und sinngemäße Zitate sind als solche gekennzeichnet.

Ort, Datum

Unterschrift

7 QUELLENVERZEICHNIS

1. Jürgen Kießling, Birger Kollmeier, Gottfried Diller: Versorgung und Rehabilitation mit Hörgeräten; Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, 2008
2. www.ihr-augenarzt.info/media/intemplate/10_Sehstrahlung.jpg
3. Florian Lang, Philipp Lang: Basiswissen Physiologie; Springer Verlag, 2007
4. Franz Grehn: Augenheilkunde; Springer Verlag, 2012
5. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/Lateral_geniculate_nucleus.png
6. http://flexikon.doccheck.com/de/Visueller_Cortex
7. <http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perception/lecturenotes/V1/LGN-V1-slides/Slide10.jpg>
8. Hagendorf Herbert, Krummenacher Joseph, Müller Hermann-Joseph, Schubert Torsten: Allgemeine Psychologie für Bachelor: Wahrnehmung und Aufmerksamkeit; Springer Verlag, 2011
9. http://persci.mit.edu/_media/gallery/checkershadow_illusion4med.jpg?cache=
10. Prof. Dr. Bernd Lingelbach: Focus Nr.11_2012; Spangemacher Verlag, 2012
11. <http://www.zwisler.de/scripts/boring/node6.html>
12. <http://web.mit.edu/persci/gaz/gaz-teaching/flash/contrast-movie.swf>
13. http://www.sapdesignguild.org/goodies/optical_illusions/contrast_phenomena.html
14. <http://web.mit.edu/persci/gaz/gaz-teaching/flash/white-movie.swf>
15. <http://web.mit.edu/persci/gaz/gaz-teaching/flash/koffka-movie.swf>
16. <http://web.mit.edu/persci/gaz/gaz-teaching/flash/craik-movie.swf>
17. <http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/light2e.htm>
18. Prof. Dr. Bernd Lingelbach: Die Fachvorträge des WVAO – Jahrekongresses 1980 in Köln: Die adaptive Bereichseinstellung der visuellen Wahrnehmung und ihre praktische Bedeutung; Parzeller & Co., 1980